دراسة

تغير المناخ والطاقة والبيئة

التحول المستدام لنظام الطاقة اليمني

تطوير نموذج المرحلة

سيبل راكيل إرسوي ، جوليا تيرابون بفاف ، مروان ذمرين وعبد الرحمن بابريك

مايو 2022

من خلال تطبيق نموذج مرحلي لانتقال الطاقة القائمة على الطاقة المتجددة في دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا إلى اليمن، تقدم الدراسة رؤية إرشادية لدعم تطوير الاستراتيجية وتوجيه عملية التحول في مجال الطاقة

تركز "الثورة الشمسية" في اليمن على التطبيقات اللامركزية الصغيرة وهي مدفوعة بشكل أساسي بنقص الطاقة نتيجة للصراع المستمر.

يمكن أن يساهم التحول نحو نظام الطاقة المستدامة في اليمن في تحسين الوضع الإنساني من خلال توفير إمدادات كهرباء آمنة وبأسعار معقولة، وتحقيق فوائد بيئية، وتوفير فرص اقتصادية طويلة الأجل.

FRIEDRICH EBERT STIFTUNG

تغير المناخ والطاقة والبيئة

التحول المستدام لنظام الطاقة اليمني

تطوير نموذج المرحلة

Wuppertal Institut

المحتويات

1 المقدمة 2

2 النموذج التصوري 4

2.1 نماذج المرحلة الأصلية 4
2.2 المنظور متعدد المستويات والمراحل الثلاث للتحولات 4
2.3 الإضافات في نموذج المرحلة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا 4

3 نموذج منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا 6

3.1 الخصائص المحددة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا 6
3.2 تكييف الافتراضات النموذجية حسب الخصائص من دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا 6
3.3 مراحل تحول الطاقة في دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا 6
3.4 تحويل نموذج المرحلة إلى حالة الدولة اليمنية 7
3.5 جمع البيانات 8

4 تطبيق النموذج في اليمن 12

4.1 تصنيف تحول نظام الطاقة في اليمن حسب نموذج المرحلة 12
4.2 نظرة عامة على المراحل التالية من عملية الانتقال 31

5 الاستنتاجات والتوقعات 33

الفهرس 34
قائمة الاختصارات 36
قائمة الوحدات والرموز 36
قائمة الجداول 37
قائمة الأشكال 37

1

المقدمة

تواجه منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا مجموعة واسعة من التحديات، بما في ذلك النمو السكاني السريع، وتباطؤ النمو الاقتصادي، وارتفاع معدلات البطالة، والضغوط البيئية الكبيرة. تتفاقم هذه التحديات بسبب القضايا العالمية والإقليمية، مثل تغير المناخ. إن المنطقة، التي هي بالفعل شديدة الضعف بسبب ظروفها الجغرافية والبيئية، ستصبح أكثر تأثراً بالنتائج السلبية لتغير المناخ في المستقبل. سيزداد الجفاف ودرجات الحرارة في واحدة من أكثر المناطق شحةً في الماء في العالم. مع تركز قطاعات كبيرة من السكان في المناطق الحضرية في المناطق الساحلية، سيكون الناس أيضاً أكثر عرضة لنقص المياه والعواصف والفيضانات وارتفاع درجات الحرارة. في القطاع الزراعي، من المتوقع أن تؤدي تأثيرات تغير المناخ إلى انخفاض مستويات الإنتاج، بينما سيزداد الطلب على الغذاء بسبب النمو السكاني وأنماط الاستهلاك المتغيرة. علاوة على ذلك، يتزايد خطر إلحاق الضرر بالبنية التحتية الحيوية، كما أن الإنفاق على الإصلاحات والبناء الجديد يفرض ضغوطاً إضافية على الموارد المالية الشحيحة أصلاً. لا ينبغي تجاهل هذه التحديات متعددة المستويات، الناشئة عن تفاعل الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والمناخية، لأنها تشكل أخطاراً جسيمة على الازدهار والتنمية الاقتصادية والاجتماعية، وفي نهاية المطاف على استقرار المنطقة.

قضايا الطاقة جزء لا يتجزأ من العديد من هذه التحديات. تتميز المنطقة بالاعتماد الكبير على النفط والغاز الطبيعي لتلبية احتياجاتها من الطاقة. على الرغم من أن المنطقة هي منتج رئيسي للطاقة، إلا أن العديد من بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا تكافح من أجل تلبية الطلب المحلي المتزايد على الطاقة. يعد التحول إلى أنظمة الطاقة القائمة على الطاقة المتجددة طريقة واعدة لتلبية هذا الطلب المتزايد على الطاقة. سيساعد الانتقال أيضاً على تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بموجب اتفاقية باريس. بالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام الطاقة المتجددة سيزيد من وتيرة النمو الاقتصادي والعمالة المحلية وتقليل القيود المالية.

على خلفية الطلب المتزايد بسرعة على الطاقة بسبب النمو السكاني، وتغير سلوك المستهلك، وزيادة التحضر، وعوامل أخرى - بما في ذلك التصنيع، وتحلية المياه، وزيادة استخدام الكهرباء للتبريد - تكتسب الطاقة المتجددة اهتماماً في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. لضمان أمن الطاقة على المدى الطويل وتحقيق أهداف تغير المناخ، طورت معظم دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا خططاً طموحة لتوسيع نطاق إنتاج الطاقة المتجددة.

تخلق الإمكانات الكبيرة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا لإنتاج الطاقة المتجددة، ولا سيما طاقة الرياح والطاقة الشمسية، فرصة لإنتاج كهرباء تكاد تكون محايدة لثاني أكسيد الكربون ولتعزيز الرخاء الاقتصادي. ومع ذلك، لا تزال معظم دول المنطقة تستخدم الوقود الأحفوري كمصدر طاقي مهيمن، كما أن الاعتماد على واردات الوقود الأحفوري في بعض البلدان ذات الكثافة السكانية العالية يشكل خطراً من حيث أمن الطاقة وإنفاق الميزانية العامة.

ينطوي الانتقال إلى نظام الطاقة القائم على الطاقة المتجددة على نشر واسع النطاق لتكنولوجيا الطاقة المتجددة، وتطوير البنية التحتية التمكينية، وتنفيذ الأطر التنظيمية المناسبة، وإنشاء أسواق وصناعات جديدة. لذلك فإن الفهم الواضح للترابط الاجتماعي والتقني في نظام الطاقة وديناميكية تطور وابتكار هذه الأنظمة أمر بالغ الأهمية، والرؤية الواضحة لهدف واتجاه عملية التحول تسهل عملية الانتقال المستهدفة (Weber and Rohracher, 2012). وبالتالي، فإن الفهم العميق لعمليات الانتقال يمكن أن يدعم الحوار البناء حول التطورات المستقبلية لنظام الطاقة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. كما يمكن أن يمكّن أصحاب المصلحة من تطوير استراتيجيات للانتقال نحو نظام الطاقة القائم على مصادر الطاقة المتجددة.

لدعم هذا الفهم، تم تطوير نموذج مرحلي لتحولات الطاقة القائمة على الطاقة المتجددة في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. يبني هذا النموذج عملية الانتقال بمرور الوقت من خلال مجموعة من مراحل الانتقال. وهو يعتمد على نموذج المرحلة الألمانية ويتم استكماله أيضاً برؤى ثاقبة في الحوكمة الانتقالية وخصائص منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. يتم تحديد المراحل وفقاً للعناصر والعمليات الرئيسية التي تشكل كل مرحلة، ويتم تمييز الاختلافات النوعية بين المراحل. ينصب تركيز كل مرحلة على التطور التكنولوجي؛ في الوقت نفسه، يتم توفير رؤى حول التطورات المترابطة في الأسواق والبنية التحتية والمجتمع. توفر الرؤى التكميلية من مجال أبحاث الاستدامة دعماً إضافياً لحوكمة التغيير طويل الأجل في أنظمة الطاقة على طول المراحل. وبالتالي، يوفر نموذج المرحلة نظرة عامة على عملية الانتقال المعقدة ويسهل التطوير المبكر لاستراتيجيات السياسة وأدوات السياسة وفقاً لمتطلبات المراحل المختلفة التي تتحد لتشكل الرؤية التوجيهية الشاملة.

في هذه الدراسة، تم تطبيق نموذج المرحلة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا على حالة اليمن. يتم تقييم وتحليل الوضع الحالي للتنمية في اليمن مقابل نموذج المرحلة. تم إجراء مقابلات مع خبراء للحصول على رؤى واضحة لتحديد المكونات المجردة المحددة مسبقاً للنموذج. نتيجة لذلك، تم اقتراح خطوات أخرى لانتقال الطاقة (بناءً على خطوات نموذج المرحلة). يعتمد هذا التطبيق على النتائج المستخلصة من الدراسات والمشاريع السابقة التي أجريت في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، بينما تم جمع البيانات الخاصة بدراسة الحالة لهذه الدراسة من قبل شركاء محليين.

2

النموذج التصوري

2.1 نماذج المرحلة الأصلية[1]

تم تطوير نموذج المرحلة لتحولات الطاقة نحو أنظمة الطاقة منخفضة الكربون القائمة على الطاقة المتجددة في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا بواسطة Fichedick et al. (2020).

بناءً على نماذج المرحلة لتحويل نظام الطاقة الألماني بواسطة Fichedick et al. (2014) و Hening et al. (2015)، طور الأخير نموذجاً من أربع مراحل لتحويل نظام الطاقة الألماني إلى نظام طاقة منزوع الكربون يعتمد على مصادر الطاقة المتجددة. ترتبط المراحل الأربع للنماذج بالافتراضات الرئيسية المستخلصة من الخصائص الأساسية لمصادر الطاقة المتجددة، المعنونة على النحو التالي: "تدشين مصادر الطاقة المتجددة"، "تكامل النظام"، "الطاقة إلى الوقود / الغاز (PtF/G) "، و"نحو مصادر متجددة بنسبة 100٪".

تعتبر المراحل الأربع حاسمة لتحقيق نظام طاقة قائم على مصادر متجددة بالكامل. في المرحلة الأولى، يتم تطوير تقنيات الطاقة المتجددة وإدخالها في السوق. في المرحلة الثانية، يتم تقديم تدابير مخصصة لدمج الكهرباء المتجددة في نظام الطاقة. ويشمل ذلك مرونة في إنتاج الطاقة الأحفورية المتبقية، وتطوير وتكامل التخزين، وتفعيل مرونة جانب الطلب. في المرحلة الثالثة، يعد التخزين طويل الأجل للكهرباء المتجددة لموازنة الفترات التي يتجاوز فيها العرض الطلب أمراً ضرورياً.

هذا يزيد من حصة مصادر الطاقة المتجددة. حيث أصبح تطبيق نظام (PtF/G) جزءً لا يتجزأ من نظام الطاقة في هذه المرحلة، وتكتسب واردات ناقلات الطاقة القائمة على الطاقة المتجددة أهمية. في المرحلة الرابعة، تحل الطاقة المتجددة محل الوقود الأحفوري في جميع القطاعات.

2.2 المنظور متعدد المستويات والمراحل الثلاث للانتقالات

لوصف التغييرات طويلة المدى في أنظمة الطاقة في هذه المراحل الأربع، يتم استكمال نموذج المرحلة برؤى من مجال أبحاث انتقال الطاقة المستدامة. إذ لا يمكن توجيه تحولات الطاقة بالكامل، ولا يمكن التنبؤ بها تماماً. يسبب تدخل العديد من العوامل والعمليات مستوى عالٍ من الاتكالية وعدم اليقين المحيط بالتطورات التكنولوجية والاقتصادية والاجتماعية والثقافية. يعد المنظور متعدد المستويات (MLP) إطاراً بارزاً يسهل تصور ديناميكيات الانتقال كما هو موضح في (الشكل 2-1).

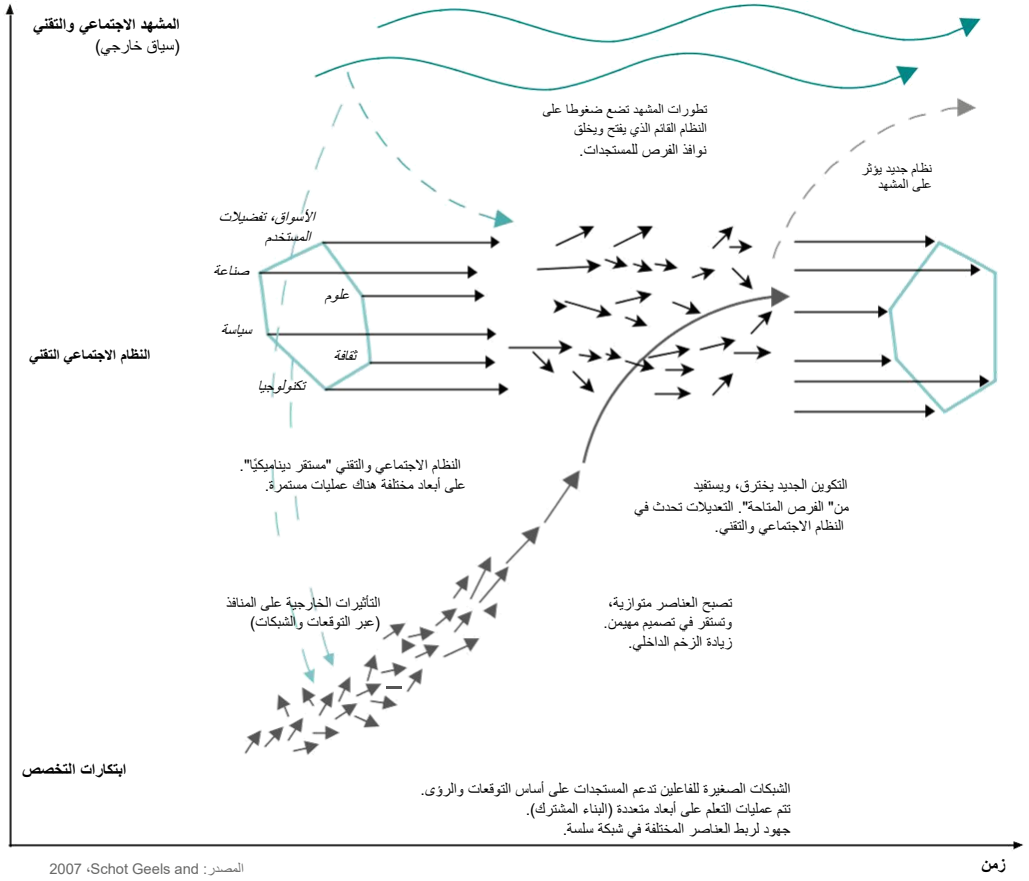
على مستوى "المنظور العام"، تؤثر الاتجاهات السائدة مثل التحولات الديموغرافية وتغير المناخ والأزمات الاقتصادية على مستوى "النظام" و "التخصيص". يجسد مستوى «النظام» النظام الاجتماعي التقني الذي يسيطر على جل اهتمامنا. في هذه الدراسة، النظام هو قطاع الطاقة. وهو يتألف من التقنيات واللوائح وأنماط المستخدم والبنية التحتية و الثقافية الموجودة التي تتحد لتشكل أنظمة اجتماعية وتقنية. لتحقيق تغييرات النظام على مستوى "النظام"، فإن الابتكارات على مستوى "التخصيص" تكون تدريجية لأنها توفر القاعدة الأساسية للتغيير المنهجي. تقدم هذه البيانات (2012 Geels) نهجاً اجتماعياً تقنياً يتجاوز الإصلاح التكنولوجي أو تغيير السلوك. تستلزم التحولات المنهجية تطوراً مشتركاً وتفاعلات متعددة الأبعاد بين الصناعة والتكنولوجيا والأسواق والسياسة والثقافة والمجتمع المدني. في المنظور المتعدد المستويات (MLP)، يمكن التمييز بين ثلاث مراحل خلال مراحل الانتقال: " التكوين المتخصصة"، و "التقدم المعرفي"، و "النمو المستند إلى السوق". في مرحلة " التكوين المتخصصة"، يتطور المكان المناسب وينمو. في مرحلة "التقدم المعرفي"، ينتشر الابتكار في هذا المكان وعندما يصبح الابتكار في المكان المتخصص منافساً للسعر بالكامل ولم تعد هناك حاجة إلى آليات سياسية داعمة محددة، يتم تحقيق مرحلة "النمو القائم على السوق". وتكون تقنيات الطاقة المتجددة في هذه المرحلة متكاملة تماماً في النظام.

2.3 الإضافات في نموذج المرحلة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

بافتراض أن نموذج المرحلة لانتقال الطاقة الألمانية بواسطة Fichedick et al. (2014) و Hening et al. (2015) ذات صلة ببلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، تظل مراحل الانتقال الأربع كما هي. نظراً لأن عمليات التكوين المتخصصة مطلوبة لتوسيع نطاق الابتكارات المتخصصة بنجاح، فقد تمت إضافة طبقة "متخصصة" إلى نموذج المرحلة الأصلي بواسطة Fichedick et al. (2020). تم تحديد مجموعة محددة من الابتكارات لكل مرحلة: تقنيات الطاقة المتجددة (المرحلة 1)، وخيارات المرونة (المرحلة 2)، وتقنيات (PtF/G) (المرحلة 3)، وقطاعات مثل الصناعات الثقيلة أو الطيران التي يصعب إزالة الكربون منها (المرحلة 4). في مرحلة تدشين مصادر الطاقة المتجددة، تعتمد كل مجموعة ابتكار على عملية التكوين المتخصصة للمرحلة السابقة. وبالتالي، فإن إضافة "الطبقة المتخصصة" تخلق تأكيداً أقوى على العمليات التي يجب أن تحدث لتحقيق أهداف النظام (الشكل 2-2).

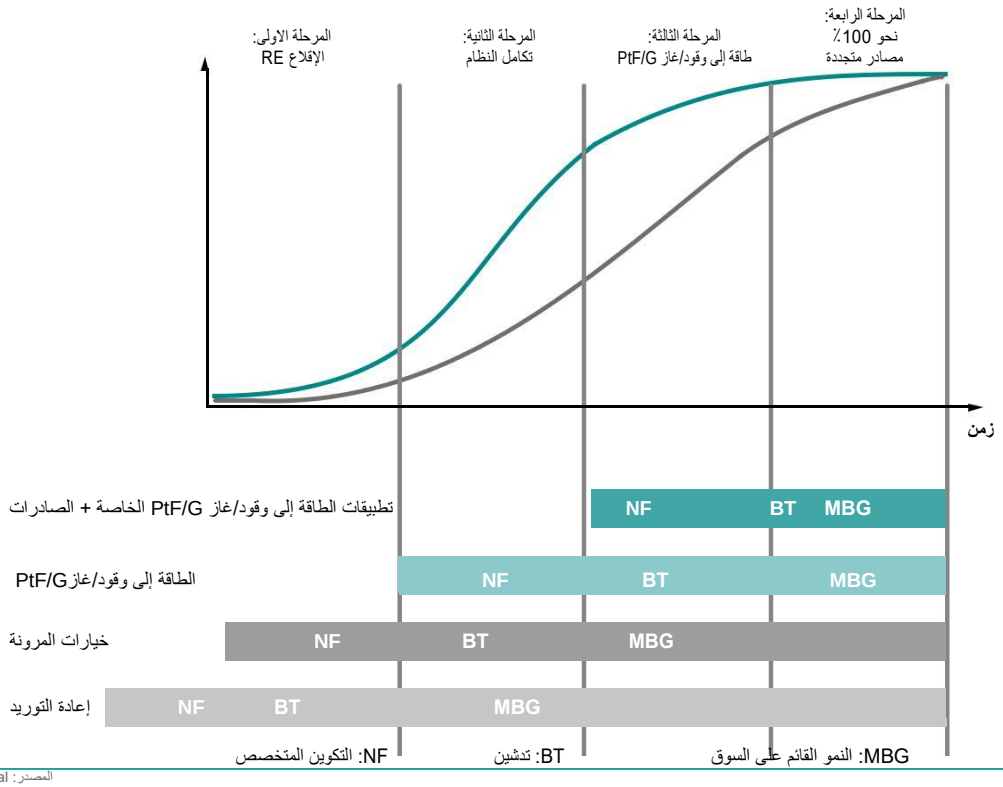
1 يستند النص إلى Holtz et al. (2018).

الشكل 2-1
المنظور متعدد المستويات



المصدر: Schot Geels and، 2007

الشكل 2-2
نموذج المرحلة الانتقالية لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا



المصدر: Holtz et al.، 2018

3

نموذج منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

3.1 الخصائص المحددة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

أحد الاختلافات الجوهرية في السياق الألماني هو الاتجاه المتزايد في الطلب على الطاقة في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وفقاً لـ BP (2019)، سيواجه الشرق الأوسط زيادة سنوية في الطلب على الطاقة بحوالي 2٪ حتى عام 2040. علاوة على ذلك، فإن كثافة الطاقة في العديد من دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا مرتفعة، نظراً لانخفاض جودة العزل في المباني، وعدم الكفاءة الفنية للتبريد وتقنيات التدفئة والبنية التحتية للتوزيع. تتراوح خسائر الكهرباء في التوزيع بين 11٪ و15٪ في دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا المستقرة مقارنة بـ 4٪ في ألمانيا (البنك الدولي، 2019). على الرغم من أن منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا تستفيد من موارد الطاقة المتجددة الكبيرة، إلا أن الكثير من إمكانات الطاقة المتجددة الاقتصادية لا تزال غير مستغلة. من خلال استغلال هذه الإمكانات، يمكن أن تصبح معظم البلدان مكتفية ذاتياً من حيث الطاقة، ويمكنها في النهاية أن تصبح مصدرة صافية للطاقة القائمة على الطاقة المتجددة.

الفرق الآخر هو أن شبكة الكهرباء في ألمانيا متطورة تماماً، في حين أن معظم بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا لديها أنظمة شبكات تحتاج إلى التوسع والتطوير على المستوى الوطني، وربطها عبر الحدود. توجد خطوط رابطة، لكنها موجودة بشكل أساسي في مجموعات إقليمية (البنك الدولي 2013)، لذلك تفتقر المنطقة إلى البنية التحتية اللازمة لتجارة الكهرباء.

يمكن أن تستفيد بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا بشكل كبير من التقدم العالمي في تقنيات الطاقة المتجددة. بينما افترض نموذج المرحلة للسياق الألماني أن تقنيات الطاقة المتجددة تحتاج إلى وقت لتنمو، فإن نموذج المرحلة لسياق الشرق الأوسط وشمال إفريقيا يمكن أن يشمل تخفيضات في التكلفة. ومع ذلك فإن ظروف تطوير صناعات الطاقة المتجددة ضعيفة بسبب عدم وجود أطر داعمة لريادة الأعمال والابتكار التكنولوجي. بينما تلعب الجهات الفاعلة الخاصة في ألمانيا دوراً رئيسياً في محطات الطاقة الشمسية الصغيرة (PV) وطاقة الرياح، تحتل الشركات المملوكة للدولة والمشاريع واسعة النطاق مركز الصدارة في معظم البلدان في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. يعتبر جمع وتوفير رأس المال اللازم عاملاً هاماً إضافياً يتطلب استراتيجيات مخصصة.

3.2 تكييف الافتراضات النموذجية وفقًا لخصائص بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

تم تكييف مراحل نموذج المرحلة الأصلي لتتوافق مع خصائص منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

من أجل تلبية الزيادة المتوقعة في الطلب الإجمالي على الطاقة، يرتفع حجم مصادر الطاقة المتجددة في المرحلتين 1 و2 بشكل كبير دون تقويض الأعمال الحالية للصناعات التي توفر الوقود الأحفوري والغاز الطبيعي. الشبكة في دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا محدودة في قدرتها على استيعاب الحصص المتزايدة من مصادر الطاقة المتجددة، مما يؤدي إلى زيادة التركيز على تعديل الشبكة وتوسيعها خلال المرحلة الأولى. علاوة على ذلك يجب أن تبدأ المرحلة الثانية في وقت أبكر مما كانت عليه في الحالة الألمانية، ويمكن أن يشمل التطور في بعض البلدان تركيز أقوى على حلول للتطبيقات خارج الشبكة والشبكات الصغيرة المعزولة. بينما تلعب الواردات في ألمانيا دوراً كبيراً في المراحل اللاحقة، يمكن تصدير الطاقة الزائدة في دول الشرق الأوسط وشمال إفريقيا وتوفير فرص اقتصادية محتملة في المرحلة 4. توفر القدرة التنافسية العالمية المتزايدة للطاقة المتجددة فرصة لتسريع مراحل تشكيل المنتجات المتخصصة في جميع مراحل الانتقال. ومع ذلك، يجب دمج عمليات التكوين المتخصصة في الاستراتيجيات المحلية. يجب إنشاء مؤسسات لدعم التطورات المتخصصة وتكييفها مع السياق على المستوى القطري.

3.3 مراحل انتقال الطاقة في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا

المرحلة 1 -» تدشين مصادر الطاقة المتجددة Take-off REs «

تم إدخال الكهرباء المتجددة بالفعل في نظام الكهرباء قبل الوصول إلى المرحلة الأولى (التدشين – الطاقة المتجددة). تعتبر التطورات على المستوى "المتخصص"، مثل تقييم الإمكانات الإقليمية، والمشاريع التجريبية المحلية، وتشكيل شبكات من الجهات الفاعلة، وتبادل المهارات والمعرفة حول نظام الطاقة المحلي، مؤشرات أولية على بدء الانتشار. خلال مرحلة ما قبل المرحلة هذه، يتم تطوير الرؤى والتوقعات لتوسيع توليد الطاقة القائم على الطاقة المتجددة.

في المرحلة الأولى، يكون تطوير الخصائص على مستوى النظام هو الإدخال والزيادة الأولية للطاقة المتجددة، لا سيما الكهرباء المولدة من محطات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. نظراً لأن الطلب على الطاقة في المنطقة ينمو بشكل كبير، فإن حصة الطاقة المتجددة التي تدخل النظام لن تكون قادرة على استبدال الوقود الأحفوري في هذه المرحلة. لاستيعاب المستويات المتغيرة من الطاقة المتجددة، يجب توسيع الشبكة وتعديلها. تدخل القوانين واللوائح حيز التنفيذ بهدف دمج مصادر الطاقة المتجددة في نظام الطاقة. إن إدخال مخططات الأسعار كحوافز للمستثمرين يسهل نشر الطاقة المتجددة على نطاق واسع والطاقة الشمسية اللامركزية للأسر.

تمهد التطورات التي تحدث على المستوى "المتخصص" الطريق للمرحلة الثانية. يتم تقييم الإمكانات الإقليمية لخيارات المرونة المختلفة (مثل إمكانيات تخزين الطاقة بالضخ وإدارة جانب الطلب في الصناعة (DSM))، ويتم تطوير الرؤى التي تطرح مسألة خيارات المرونة. في هذه المرحلة، تتم مناقشة دور ارتباط هذا القطاع بقطاعات أخرى (مثل النقل، التدفئة)، ويتم استكشاف نماذج لأعمال تجارية جديدة.

المرحلة 2 - »تكامل النظام«

في المرحلة الثانية، يستمر التوسع في الطاقة المتجددة على مستوى "النظام"، بينما لا تزال الأسواق المتنامية توفر مجالاً للتعايش بين الطاقة المعتمدة على الوقود الأحفوري. يستمر تمديد الشبكة، ويتم بذل الجهود لإنشاء خطوط طاقة عابرة للحدود لموازنة الاختلافات الإقليمية في إمدادات طاقة الرياح والطاقة الشمسية. في هذه المرحلة، يتم التعرف على إمكانات المرونة (التخزين و DSM)، ويتم تكييف تصميم سوق الكهرباء لاستيعاب هذه الخيارات. يتم دمج البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) بشكل كامل مع نظام الطاقة (الرقمنة). على المستوى السياسي، تتماشى اللوائح في قطاعات الكهرباء والتنقل والحرارة لتوفير ساحة لعب متكافئة لشركات نقل الطاقة المختلفة. تضيف العملية المباشرة لكهربة التطبيقات في قطاعات التنقل والصناعة والحرارة مزيداً من المرونة إلى النظام.

على المستوى "المتخصص" يتم تطوير تطبيق (الطاقة إلى وقود / غاز) (PtF/G) لاختراق المرحلة الثالثة. تختبر المشاريع التجريبية تطبيق الوقود الاصطناعي والغازات في ظل الظروف المحلية. من المتوقع أن يحل الهيدروجين الأخضر محل الوقود الأحفوري في قطاعات مثل الإنتاج الكيميائي. تقوم شبكات الفاعلين بإنشاء وتبادل المعرفة والمهارات في مجال (PtF/G). استناداً إلى تقييم إمكانات طرق تحويل (PtF/G) المختلفة، يتم وضع استراتيجيات وخطط لتطوير البنية التحتية، ويتم استكشاف نماذج الأعمال.

المرحلة 3 - » الطاقة الى وقود/غاز PtF/G«

على مستوى "النظام"، تزداد حصة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء، مما يؤدي إلى احتدام المنافسة بين مصادر الطاقة المتجددة والوقود الأحفوري و- مؤقتاً- إلى أحمال متبقية عالية وسلبية. أصبح إنتاج الهيدروجين الأخضر والوقود الاصطناعي أكثر قدرة على المنافسة بسبب توافر الكهرباء منخفضة التكلفة. تدخل (PtF/G) بدعم من اللوائح بما في ذلك خطط التسعير للسوق وتمتص الحصص المتزايدة من "فائض" مصادر الطاقة المتجددة خلال أوقات ارتفاع العرض. يساهم قطاعا المواصلات والنقل لمسافات طويلة على وجه الخصوص في زيادة تطبيق (PtF/G) وهذا بدوره يتيح استبدال الوقود الأحفوري والغاز الطبيعي. إن تطوير البنية التحتية للهيدروجين وتعديل البنية التحتية الحالية للنفط والغاز لاستخدام الوقود والغازات الاصطناعية يخلقان مرافق إمداد متجددة مخصصة للصادرات الدولية. لا تؤثر تخفيضات الأسعار وإدخال الرسوم والضرائب على الوقود الأحفوري تأثيراً سلبياً على ظروف السوق فحسب، بل إنها تشرع أيضاً في التخلص التدريجي من الوقود الأحفوري. هذه التطورات تحفز التغييرات في نماذج الأعمال. نظراً لأن حلول (PtF/G) توفر تخزيناً طويل الأجل يساعد على إنشاء هياكل كبيرة لسوق التصدير.

على المستوى "المتخصص"، تلعب التجارب مع تطبيقات (PtF/G) دوراً أساسياً في القطاعات التي يصعب إزالة الكربون منها، مثل الصناعات الثقيلة (الخرسانة والكيماويات والصلب) والنقل الثقيل والشحن. بالإضافة إلى ذلك، يتم استكشاف وتقييم إمكانية تصدير الهيدروجين وكذلك الوقود والغازات الاصطناعية.

المرحلة 4 - »نحو 100٪ طاقة متجددة«

تحل انواع الطاقة المتجددة المختلفة تدريجياً محل الوقود الأحفوري المتبقي. يتم التخلص التدريجي من الوقود الأحفوري، ويتم تطوير (PtF/G) بالكامل من حيث البنية التحتية ونماذج الأعمال. نظراً لأن دعم مصادر الطاقة المتجددة لم يعد مطلوباً، فقد تم التخلص التدريجي من مخططات دعم الأسعار. ويشكل توسيع هياكل سوق التصدير قطاعا حاسما في الاقتصاد.

يلخص الجدول 3-1 التطورات الرئيسية في الطبقات "التقنية الاقتصادية" و "الحوكمة"، وكذلك على مستويات "المنظور العام" و "النظام" و "المتخصص" خلال المراحل الأربع.

3.4 نقل نموذج المرحلة إلى الحالة الإقليمية لليمن

تم تطبيق نموذج المرحلة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا في الأصل على حالة الأردن في Holtz et al. (2018) تم تطبيقه وتكييفه جزئياً في سياق هذا المشروع لتسع دول في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، إحداها تونس. وتمت مناقشة الجوانب المرتبطة بالمراحل المختلفة للنموذج مع صانعي السياسات وممثلي العلوم والصناعة والمجتمع المدني في البلدان المعنية. استناداً إلى التجربة في الأردن، أثبت النموذج أنه أداة مفيدة لدعم المناقشات حول الاستراتيجيات وصنع السياسات فيما يتعلق بتحول الطاقة في بلدان الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. توضح نتائج التطبيق إلى اليمن نظرة عامة منظمة للتطورات المستمرة في نظام الطاقة في اليمن. علاوة على ذلك، تقدم نظرة ثاقبة للخطوات التالية المطلوبة لتحويل نظام الطاقة اليمني إلى نظام قائم على مصادر الطاقة المتجددة.

من أجل عكس التحديات والفرص المحددة لانتقال الطاقة في اليمن، تم إجراء بعض التعديلات على مجموعة معايير نموذج المرحلة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا على مستوى المناظر الطبيعية أيضاً.
وتشمل هذه العوامل مثل جائحة فيروس كورونا (كوفيد - 19) 2019 وجهود إزالة الكربون العالمية في ضوء اتفاقية باريس. وقد أثرت هذه الجوانب بالفعل أو ستؤثر على أسعار النفط والغاز العالمية وتطوير القطاع. علاوة على ذلك تم تقييم تفاصيل حول الدور المهيمن للوقود الأحفوري في نظام الطاقة والتحديات ذات الصلة لتطوير قطاع الطاقة المتجددة. يوضح الجدول 3-1 التطورات خلال المراحل الانتقالية.

3.5 جمع البيانات

تم تجميع معلومات مفصلة عن الوضع والتطورات الحالية للأبعاد المختلفة (العرض والطلب والبنية التحتية وشبكة الجهات الفاعلة وتطوير السوق) من أجل تطبيق نموذج المرحلة على أوضاع كل بلد على حدة. في الخطوة الأولى تم إجراء مراجعة شاملة للأدبيات ذات الصلة والبيانات المتاحة. بناءً على تقييم وتحليل البيانات المتاحة، تم تحديد فجوات المعلومات. تم استكمال المعلومات المفقودة بمساعدة مقابلات الخبراء والبحث في الموقع من قبل المؤسسات الشريكة المحلية. بالإضافة إلى ذلك، ساعدت المنظمات المحلية الشريكة في تحديد التحديات والعوائق الخاصة بكل بلد والتي يمكن أن تعيق إطلاق إمكانات تعلم المخاطر في الدولة. شمل الأشخاص الذين تمت مقابلتهم أصحاب المصلحة ذوي الصلة من ذوي الخبرة في قطاع الطاقة أو القطاعات ذات الصلة من المؤسسات السياسية، والأوساط الأكاديمية، والقطاع الخاص. أجريت مقابلات الخبراء وفقا لمبادئ توجيهية للمقابلات المنظمة. تعتمد البيانات الكمية المستخدمة في الغالب على مصادر ثانوية، مثل قواعد البيانات من الوكالة الدولية للطاقة (IEA) والوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA)، أو تم حسابها باستخدام البيانات المتاحة لتحديد الوضع الحالي والاتجاهات المستقبلية.

تم إجراء مقابلات مع الخبراء في اليمن من قبل الشركاء المحليين لشركة يمن سولار، البروفيسور مروان ذمرين والدكتور عبد الرحمن بابريك. كما ساهموا في التحقيق في التحديات والعوائق الخاصة بكل بلد والتي يمكن أن تعيق إطلاق إمكانات تعلم المخاطر في الدولة. شركاء المقابلة الرئيسيون هم أصحاب المصلحة ذوي الصلة ولديهم عدة سنوات من الخبرة في قطاع الطاقة في اليمن من المؤسسات السياسية والأوساط الأكاديمية والقطاع الخاص.

جدول ٣-١
التطورات خلال المراحل الإنتقالية

		تطوير قبل المرحلة الاولى	المرحلة الاولى: «تدشين الطاقة المتجددة»	المرحلة الثانية: «تكامل النظام RE»	المرحلة الثالثة: «الطاقة إلى وقود / غاز»	المرحلة الرابعة: «نحو طاقة متجددة ١٠٠٪»
		* تشكيل تخصص الطاقة المتجددة	* التقدم المعرفي في الطاقة المتجددة * خيار مرونة التكوين المتخصص	* طاقة متجددة قائمة على نمو السوق * خيار مرونة التقدم المعرفي * تشكيل تخصص الطاقة إلى وقود/غاز	* خيار المرونة القائم على نمو السوق * النمو المعرفي في الطاقة إلى وقود/غاز * تشكيل تخصيص استخدام	* الطاقة إلى وقود/غاز القائمة على نمو السوق * النمو المعرفي في استخدام وتصدير الطاقة إلى وقود/غاز
قطاع الطاقة	مستوى المنظور العام	* الأطر الدولية بشأن تغير المناخ * الظروف الجغرافية وتوزيع الموارد الطبيعية * جهود إزالة الكربون من البلدان الصناعية (بما في ذلك برامج التعافي الأخضر بعد جائحة كوفيد 19) * الصراعات العالمية والإقليمية (التي تؤثر على التجارة) * الآثار طويلة المدى لوباء كوفيد 19على الاقتصاد العالمي * التنمية الديموغرافية				
	مستوى النظام الطبقة التقنية الإقتصادية		* حصة الطاقة المتجددة في نظام الطاقة حوالي ٠٪ -٢٠٪	* حصة الطاقة المتجددة في نظام الطاقة حوالي ٢٠٪ -٥٠٪	* حصة الطاقة المتجددة في نظام الطاقة حوالي ٥٠٪ -٨٠٪	* حصة الطاقة المتجددة في نظام الطاقة حوالي ٨٠٪ -١٠٠٪
			* تعريف السوق بالطاقة المتجددة بالاعتماد على التكنولوجيا المتاحة ومدفوعا بانخفاض الأسعار العالمية	* مزيد من تمديد الشبكة (الوطنية والدولية)	* تمديد التخزين طويل المدى مثل (تخزين الغاز الإصطناعي)	* بناء البنية التحتية واسعة النطاق لصادرات الطاقة إلى وقود/غاز
			* التمديد والتعديل التحديثي لشبكة الكهرباء	* تكامل هياكل تكنولوجيا المعلومات والاتصالات مع أنظمة الطاقة (على سبيل المثال، ادخال سمارت متر)	* تشييد البنية التحتية الأولى لتحويل الطاقة إلى وقود/غاز (الطلب مرضي على النطاق الوطني والأجنبي)	* التخلص التدريجي من البنية التحتية للوقود الأحفوري ونماذج أعماله
			* مخططات لوائح وتسعيرات الطاقة المتجددة	* خيارات اختراق نظام المرونة (مثل تخزين	* مؤقتاً أحمال سلبية عالية متبقية بسبب حصة الطاقة المتجددة المرتفعة	* توحيد نماذج التصدير القائمة على الطاقة المتجددة
			* تطوير وتعزيز سلاسل التوريد المحلية للطاقة المتجددة	* الكهربة المباشرة للاستخدام في المباني والتنقل وقطاعات الصناعة؛ نماذج الأعمال في تلك القطاعات (مثل، مضخات الحرارة، السيارات الإلكترونية، وأنظمة المنزل الذكي وتسويق فصل الأحمال من الأحمال الصناعية)	* أحجام مبيعات الوقود الأحفوري تبدأ بالإنكماش	* الاستبدال الكامل للوقود الأحفوري باستخدام الطاقة المتجددة والوقود القائم عليها
			* لا يوجد بديل للوقود الأحفوري بسبب نمو الأسواق	* لا بديل (أو فقط استبدال محدود) للوقود الأحفوري بسبب نمو الأسواق	* نماذج الأعمال القائمة على الوقود الأحفوري تبدأ بالتغير	* استقرار نماذج اعمال طاقة إلى وقود/غاز وقدرات الإنتاج مثل (الاستثمارات واسعة النطاق)
				* تطوير وتمديد الشبكات الصغيرة كحل لاستخدام الشبكة	* زيادة أحجام الطاقة إلى وقود/غاز مستبدلةً الوقود الأحفوري والغاز الطبيعي	
				* تقدم التحول للطاقة في قطاعات الاستخدام النهائي (النقل والصناعة والبنايات)		
				* تقدم التحول للطاقة في قطاع الصناعة والحد من محتوى الكربون المرتفع من بعض المنتجات والإنبعاثات العالية في عمليات معينة		

			تطوير قبل المرحلة الاولى	المرحلة الاولي: »تدشين الطاقة المتجددة «	المرحلة الثانية: »تكامل النظام RE«	المرحلة الثالثة: »الطاقة إلى وقود / غاز	المرحلة الرابعة: »نحو طاقة متجددة ١٠٠٪
			* تشكيل تخصص الطاقة المتجددة	* التقدم المعرفي في الطاقة المتجددة * خيار مرونة التكوين المتخصص	* طاقة متجددة قائمة على نمو السوق * خيار مرونة التقدم المعرفي * تشكيل تخصص الطاقة إلى وقود/غاز	* خيار المرونة القائم على نمو السوق * النمو المعرفي في الطاقة إلى وقود/غاز * تشكيل تخصيص استخدام	* الطاقة إلى وقود/غاز القائمة على نمو السوق * النمو المعرفي في استخدام وتصدير الطاقة إلى وقود/غاز
قطاع الطاقة	مستوى النظام	طبقة الحوكمة	* من المهم الاعتراف بأن كفاءة الطاقة هي العمود الاستراتيجي الثاني لتحويل نظام الطاقة	* دعم تبني الطاقة المتجددة (مثل تسعيرات التغذية للشبكة) ووضع مخططات لوائح وتسعيرات الطاقة المتجددة	* وضع ضغوط على نظام الكهرباء القائم على الوقود الأحفوري (مثل تخفيض الاعانات وتسعير الكربون)	* الضغط على نظام المكونات الذي يتعارض مع المرونة (مثل التخلص التدريجي من محطات توليد الطاقة ذات الحمل الأساسي)	* وضع ضغوط على الوقود الأحفوري (مثل التخلص التدريجي من الإنتاج)
				* زيادة مشاركة المستثمرين المؤسسيين (صناديق التقاعد وشركات التأمين والأوقاف وصناديق الثروة السيادية) في الفترة الانتقالية	* توجيه الدعم لصالح الطاقة المتجددة (مثل التخلص التدريجي من تعريفات التغذية للشبكة)	* توجيه الدعم لخيارات المرونة	* توجيه الدعم لصالح طاقة إلى وقود/غاز
				* زيادة الوعي بخصوص الأمور البيئية	* تدابير لخفض الاثار الجانبية غير المقصودة للطاقة المتجددة (إن وجدت)	* تدابير لخفض الاثار الجانبية غير المقصودة لخيارات المرونة (إن وجدت)	* تدابير لخفض الاثار الجانبية غير المقصودة للطاقة إلى وقود/غاز (إن وجدت)
				* توفير الوصول لملفات البنية التحتية وأسواق الطاقة المتجددة (مثل اعداد لوائح الوصول الى الشبكة)	* تكييف السوق لاستيعاب خيارات المرونة	* وضع لوائح وتسعيرات للطاقة إلى وقود/غاز (مثل التنقل واستبدال الوقود الأحفوري والغاز الطبيعي)	* الوصل للبنية التحتية والأسواق (مثل توصيل خطوط الأنابيب بمواقع الإنتاج)
				* جهود معتدلة لتسريع تحسين الكفاءة	* توفير الوصول للأسواق لخيارات المرونة (مثل تكييف السوق ومحاذاة الكهرباء والحركة واللوائح المتعلقة بالحرارة)	* تخفيض الأسعار المدفوعة للكهرباء القائمة على الوقود الأحفوري	* دعم التبني (مثل الاعانات)
					* دعم انشاء وتفعيل خيارات المرونة (مثل تعرفة الشحن الثنائي للسيارات الكهربائية)	* توفير الوصول إلى البنية التحتية والأسواق للطاقة إلى وقود/غاز (مثل تزويد خطوط أنابيب لنقل الغازات الاصطناعية والوقود)	
					* تسهيل الاقتران بين قطاعي الطاقة والمستخدم لدعم تكامل الطاقة المتجددة مع قطاع الطاقة	* دعم تبني الطاقة إلى وقود/غاز (مثل الاعفاءات الضريبية)	
					* تكييف السوق لاستيعاب خيارات المرونة		
					* توجيه الاستثمارات لحلول تزيد من خفض الكربون: رفع حصة الاستثمار في الطاقة المتجددة وتخفيض مخاطر الأصول العالقة		
					* موائمة الهياكل الاجتماعية والاقتصادية والنظام المالي: استدامة أوسع ومتطلبات التحول		
					* تسهيل الاقتران بين قطاعي الطاقة والمستخدم لدعم تكامل الطاقة المتجددة مع قطاع الطاقة		
					* موائمة اللوائح المتعلقة بالكهرباء والحركة والحرارة		

		تطوير قبل المرحلة الاولى	المرحلة الاولى: «تدشين الطاقة المتجددة»	المرحلة الثانية: «تكامل النظام RE»	المرحلة الثالثة: «الطاقة إلى وقود / غاز»	المرحلة الرابعة: «نحو طاقة متجددة ١٠٠٪»
		* تشكيل تخصص الطاقة المتجددة	* التقدم المعرفي في الطاقة المتجددة * خيار مرونة التكوين المتخصص	* طاقة متجددة قائمة على نمو السوق * خيار مرونة التقدم المعرفي * تشكيل تخصص الطاقة إلى وقود/غاز	* خيار المرونة القائم على نمو السوق * النمو المعرفي في الطاقة إلى وقود/غاز * تشكيل تخصيص استخدام	* الطاقة إلى وقود/غاز القائمة على نمو السوق * النمو المعرفي في استخدام وتصدير الطاقة إلى وقود/غاز
قطاع الطاقة	المستوى التخصصي	الطبقة التقنية الاقتصادية: * تقييم إمكانات الطاقة المتجددة	* تقييم الإمكانات الإقليمية لخيارات المرونة المختلفة	* تقييم إمكانات الطرق المختلفة للتحول للطاقة إلى وقود/غاز	* إختبار استخدام الطاقة إلى وقود/غاز في قطاعات الصناعة (مثل الصلب والإسمنت والمواد الكيميائية) والنقل الخاص (مثل الطيران والشحن)	
		* مشاريع التشغيل المحلي بالطاقة المتجددة	* تجربة خيارات المرونة	* مشاريع محلية تجريبية مع جيل الطاقة إلى وقود/غاز القائم على إلتقاط الهيدروجين والكربون (مثل CCU,CCS)	* الاستثمار في نماذج الأعمال لصادرات الطاقة إلى وقود/غاز	
			* استكشاف نماذج أعمال وخيارات مرونة تشمل تكنولوجيا الإتصالات والمعلومات الناشئة ونماذج أعمال رقمية جديدة من أجل اقتران القطاع بقطاعات اخرى	* استكشاف نماذج أعمال قائمة على الطاقة إلى وقود/غاز	* صادرات الوقود الإصطناعي التجريبية	
				* استكشاف إمكانات DSM جديدة (مثل الشحن الذكي وربط المركبة بالشبكة للسيارات الكهربائية والتدفئة والتبريد والتخزين الحراري المغذى بالكهرباء)		
				* الإستفادة من التجارب العالمية للطاقة إلى وقود/غاز		
	طبقة الحوكمة	* تطوير الرؤى والتوقعات المشتركة لتنمية الطاقة المتجددة	* تطوير رؤى وتوقعات مشتركة لمرونة السوق وتكامل نظام الطاقة (أسواق الطاقة المحلية والإقليمية)	* تطوير الرؤى والتوقعات المشتركة للطاقة إلى وقود/غاز (مثل إستراتيجية وخطط تنمية وتكييف البنية التحتية)	* تطوير الرؤى والتوقعات المشتركة لصادرات الطاقة إلى وقود/غاز (مثل الأسواق المستهدفة والمواقع لخطوات التحول)	
		* دعم التعليم حول الطاقة المتجددة (مثل المشاريع المحلية)	* دعم عمليات التعليم حول المرونة (مثل مشاريع محلية)	* دعم عمليات التعليم حول الطاقة إلى وقود/غاز (مثل مشاريع محلية لجيلها والإستفادة من خبراتها العالمية واستكشاف نماذج أعمال قائمة عليها	* دعم التعليم حول الطاقة إلى وقود/غاز في قطاعات كالصناعة والنقل الخاص (مثل تجارب لاستخدام منتجات الطاقة إلى وقود/غاز لصهر الزجاج)	
		* تكوين شباكات للفاعلين بمجال الطاقة المتجددة (مثل مشاريع مشتركة)	* تشكيل شبكات للفاعلين حول المرونة بمجال الكهرباء والحركة وقطاعات الحرارة (مثل استكشاف نماذج أعمال حول المرونة تشمل تكنولوجيا الإتصالات والمعلومات الناشئة ونماذج أعمال رقمية جديدة من أجل إقتران القطاع)	* تشكيل شبكة فاعلة ذات صلة بالطاقة إلى وقود/غاز (محلية ودولية)	* دعم التعليم حول صادرات الطاقة إلى وقود/غاز (مثل مدى تقبل الأسواق المستهدفة وأنظمة التجارة)	
		* تقدم التحول للطاقة في قطاعات الاستخدام النهائي	* تطوير قاعدة معرفة مشتركة لمسارات متكاملة لإزالة الكربون لتعزيز محاذاة الكتلة الحرجة والتي بإمكانها تغيير القطاع بأكمله		* تشكيل شبكات الفاعلين لإنشاء هياكل ضخمة لتصدير الوقود الإصطناعي (مثل المنتجين والجمعيات التجارية والأسواق)	
* تحسينات متواصلة في كفاءة الطاقة						
* مواصلة تقليل كثافة المواد من خلال تدابير الكفاءة ومبادئ الاقتصاد المتكامل						

المصدر: أصحاب الدراسة

4

تطبيق النموذج في اليمن

ملخص للوقائع	
التصديق على اتفاق باريس	✓
استراتيجية النمو البيئي	✗
تحديد أهداف الطاقة المتجددة	✓
السياسات التنظيمية لـ إنشاء تنفيذ الطاقة المتجددة	(✗)
استراتيجية كفاءة الطاقة الحالية	✗
إستراتيجية (PtX)	✗

4.1 تصنيف تحويل نظام الطاقة في اليمن وفقًا لنموذج المرحلة

دمرت الحروب الأهلية والاضطرابات السياسية اليمن في العقود الماضية حيث تركت الصراعات بصماتها على البلاد التي وصفت أزمتها منظمة اليونيسف (2021) بأنها "واحدة من أكبر الأزمات الإنسانية في العالم". نتيجة الحرب، دمرت شبكة الكهرباء العامة، وتركت غالبية المواطنين بدون كهرباء. وهكذا أصبح استخدام تكنولوجيا الطاقة الشمسية اللامركزية بديلاً هاماً لتوليد الكهرباء للاستهلاك الذاتي.

ومع ذلك، لا يزال الوقود الأحفوري يهيمن على مزيج الطاقة والاقتصاد في اليمن. تشكل عائدات إنتاج النفط الحصة الأكبر من عائدات الحكومة وصادراتها. ونتيجة لذلك يتعرض اقتصاد البلاد لتقلبات أسعار النفط في السوق العالمية. علاوة على ذلك، يؤدي الدعم السخي للوقود والكهرباء إلى تفاقم الوضع المالي في اليمن (Atamanov, 2017). في ظل هذه الخلفية، أصبحت تقنيات الطاقة المتجددة ذات صلة بزيادة إمدادات الكهرباء والوصول إلى الكهرباء في المناطق المعزولة (Al Asbahi et al., 2020). في المستقبل يمكن أن تلعب مصادر الطاقة المتجددة دوراً أكبر، نظراً لأن اليمن لديها إمكانات متجددة غنية، خاصة لتوليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية (Qasem, 2018).

يدرس هذا التقرير الوضع الحالي للطاقة والكهرباء في اليمن، ويقيم البلد على طول نموذج المرحلة، ويعطي نظرة عامة حول كيفية تحقيق المراحل التالية للانتقال نحو نظام الطاقة القائم على الطاقة المتجددة.

4.1.1 تقييم الوضع الحالي والاتجاهات على مستوى المنظور العام والنظام

يناقش هذا القسم الوضع الحالي والاتجاهات لنظام الطاقة في اليمن من حيث العرض والطلب وقطاع الوقود الأحفوري والطاقة المتجددة والبنية التحتية وشبكة الجهات الفاعلة وتطوير السوق.

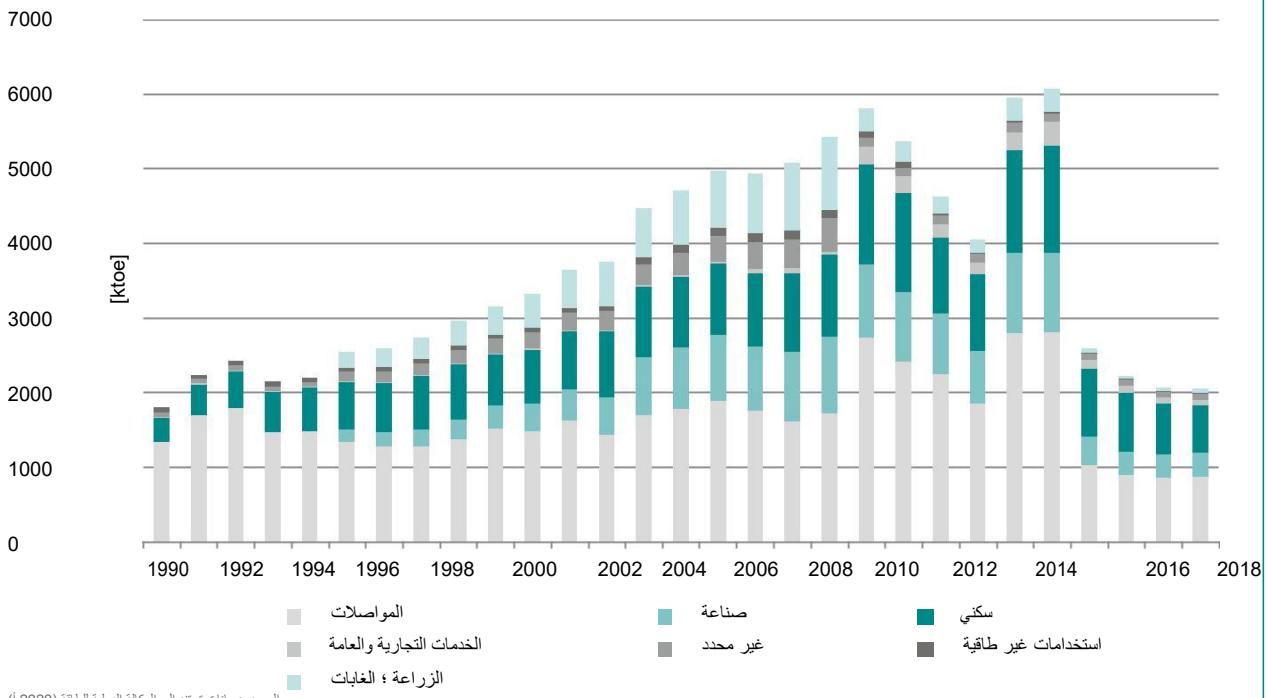
العرض والطلب على الطاقة

تتميز إمدادات الطاقة في اليمن بنقص حاد ونقص في الطاقة. وقد اشتد هذا الوضع خلال العمليات العسكرية منذ عام 2015. في عام 2018، بلغ إجمالي استهلاك اليمن النهائي للطاقة 2,051 كيلو طن نفط مكافئه (وكالة الطاقة الدولية، 2020). سيطر القطاع السكني على استهلاك الطاقة (31٪)، يليه قطاع النقل (43٪)، والصناعة (16٪)، وآخرون (10٪) (الوكالة الدولية للطاقة، 2020 أ) (الشكل 4-1).

في عام 2018، سيطر الوقود الأحفوري على مزيج الطاقة (الشكل 4-2)، حيث شكل زيت الوقود الثقيل (HFO)، وزيت الوقود الخفيف (LFO) والديزل حوالي 90٪ ، والغاز الطبيعي الذي يمثل 3٪ ، والفحم لـ 2٪ ، في حين أن إجمالي حصة الوقود الحيوي والنفايات 4٪ ، والموارد المتجددة الأخرى 1٪ (الوكالة الدولية للطاقة ، 2020).

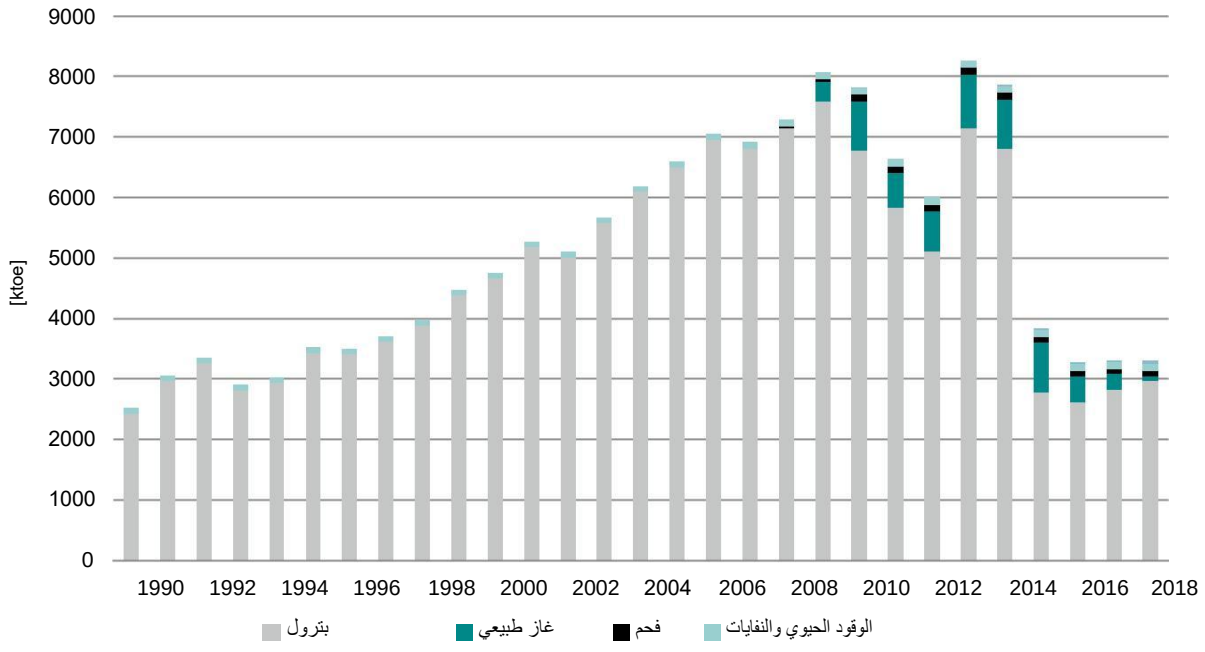
لا يزال الطلب الحالي على الكهرباء في اليمن كما هو دون وجود خدمات توفير الكهرباء في معظم المحافظات. على الرغم من أن المؤسسة العامة للكهرباء (PEC)، التي تدير نقل الكهرباء وإنتاج الطاقة في اليمن، لديها قدرة مركبة تبلغ 1.5 جيجاواط، إلا أن إنتاج الطاقة الفعلي لا يزال أقل بكثير من القدرة الاسمية الفعلية المتاحة (Almohamadi, 2021). بعد عام 2013، بالكاد تم استخدام حوالي 1.1 جيجاواط من السعة المركبة. ويرجع ذلك إلى إغلاق العديد من وحدات التوليد في محطات الطاقة بسبب كفاءتها المنخفضة، والفشل المستمر، والخسائر الكبيرة في نظام الطاقة، وتفكيك الشبكة وقطعها. بالإضافة إلى ذلك هناك العديد من الشبكات المعزولة، مثل حضرموت بقدرة 150 ميغاواط، أو شبكات صغيرة معزولة في المهرة، وصعدة، وشبوة. تواجه مناطق صنعاء وعدن والحديدة وإب وحضرموت انقطاعاً في الكهرباء وانقطاعاً يستمر عدة ساعات يومياً (Mubaarak et al., 2020) وفقاً لما ذكروه ومقابلات الخبراء، تحتاج صنعاء عادة إلى طاقة حوالي 500 ميغاواط، بينما تحتاج عدن إلى 390 ميغاواط، وحضرموت تتطلب 276 ميغاواط، والحديدة وإب بحاجة إجمالاً 280 ميغاواط، وتعز تتطلب 111 ميغاواط، وكلها لا يمكن تلبيتها.

الشكل 4-1
إجمالي استهلاك الطاقة النهائي كيلو طن نفط مكافئه (ktoe) ، اليمن 1990-2018



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ)

الشكل 4-2
إجمالي إمدادات الطاقة كيلو طن نفط مكافئه (ktoe) ، اليمن 1990-2018



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ)

ويرجع العجز في إنتاج الكهرباء إلى قِدم وعدم كفاءة محطات الطاقة، وتدمير البنية التحتية للكهرباء خلال الحرب، والاعتداءات التخريبية على أبراج ومحطات الطاقة (Al-Fakih & Li, 2018; Almohamadi, 2021). حتى مع ظروف الشبكة قبل الحرب، كانت البنية التحتية للطاقة هشة للغاية بحيث لا تلبي طلب اليمن. وقد فاقمت الأضرار التي لحقت أثناء الحرب من الوضع، مما أدى إلى انهيار شبه كامل لشبكة الكهرباء الوطنية (Almohamadi, 2021). نتيجة لذلك يتمتع السكان اليمنيون بأدنى مستوى من الوصول للكهرباء في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، حيث إن 40٪ فقط من السكان متصلون بالكهرباء (Alkholidi, 2013; Al-Saidi, 2020b; Baharoon et al., 2016). هناك العديد من محطات توليد الطاقة الصغيرة التي تعمل بالديزل في جميع أنحاء البلاد وتقع في المناطق الريفية المعزولة عن الشبكة الوطنية. وتنتمي إما إلى المؤسسة العامة للكهرباء أو إلى القطاع الخاص. توفر بعض محطات توليد الطاقة التي تعمل بالديزل الكهرباء لعدة ساعات فقط في اليوم. المناطق الريفية هي الأكثر تأثراً، لكن المنشآت الصناعية والخدمية والمستشفيات والمحلات التجارية والفنادق لا يمكنها الاعتماد فقط على الشبكة. وبالتالي فإنهم يشغلون مولداتهم الاحتياطية التي تعمل بالديزل. يؤثر نقص الوصول إلى الكهرباء ونقص الكهرباء على الفئات الفقيرة والضعيفة اقتصادياً وكذلك تشغيل القطاعات الأخرى مثل المياه والصرف الصحي والإنتاج الصناعي والخدمات الصحية وتخزين المواد الغذائية والنقل والمدارس (Al-Saidi, 2020b). بالإضافة إلى ذلك، فإن أزمة الطاقة هي المسؤولة عن الزيادات في تعريفة المياه والطاقة التي تزيد من الضائقة المالية للأسر والقطاع التجاري. تمت مناقشة خطط العديد من الحكومات لبناء محطات طاقة وكانت على وشك التنفيذ، ولكن تم تعليقها بسبب الحرب.

يتأثر منحنى الحمل اليومي والسنوي بشكل أساسي بالقطاع المنزلي، والذي يمثل حوالي 73 ٪ من استهلاك الكهرباء. يتم تسجيل ذروة استهلاك الكهرباء في اليمن بين الساعة 7 و11 مساءً بمتوسط الطلب على الطاقة في الساعة بين 1300 و 1500 ميجاواط/ساعة. الحد الأقصى للحمل في الساعة 11 مساءً، بينما يتم تسجيل الحد الأدنى للحمل في الساعة 6 صباحاً. خلال شهر رمضان، ينحرف منحنى الحمل عن هذا النمط المعتاد ويبلغ ذروته طوال الليل من المساء حتى الساعة 4 صباحاً. أما من حيث المواسم، فيحدث الحد الأدنى للحمل في شهر كانون الثاني (يناير) ويزداد تدريجياً حتى يصل إلى ذروته في شهر حزيران (يونيو)، والتي تستمر حتى نهاية شهر أيلول (سبتمبر). بعد ذلك ينخفض الطلب بدءاً من نهاية الصيف وحتى نهاية يناير (المؤسسة العامة للكهرباء، 2021).

نادراً ما يتجاوز استهلاك الفرد من الكهرباء 255 كيلوواط / ساعة سنوياً، وهو ما يمثل أدنى معدل مقارنة بمتوسط معدل نصيب الفرد في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا (2900 كيلوواط / ساعة) (Almohamadi, 2021). حتى مع توصيل أقل من مليوني مشترك بشبكة الكهرباء الوطنية، فإن المؤسسة العامة للكهرباء غير قادرة على تلبية الطلب. يوسع الصراع المستمر الفجوة بين العرض والطلب ويجعل من الصعب صيانة وتحديث محطات الطاقة الحالية أو بناء محطات جديدة.

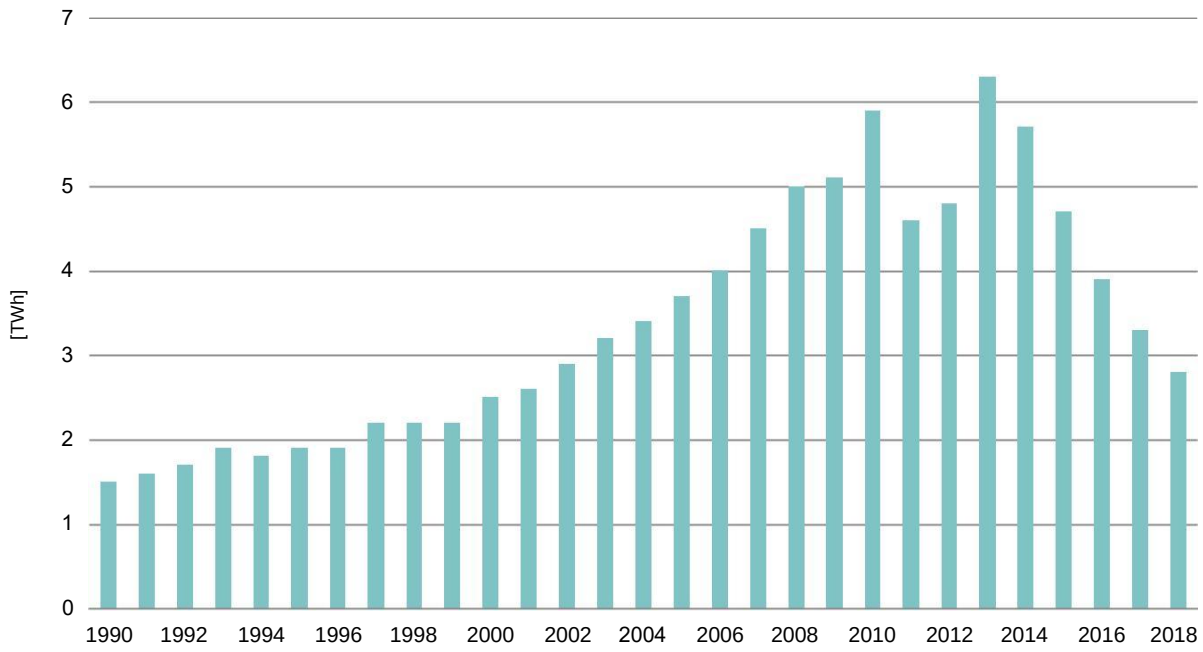
بلغ استهلاك الكهرباء في عام 2018 حوالي 2.8 تيراواط / ساعة، وهو ما يقرب من نصف الطلب على الكهرباء في بداية العقد الماضي (الشكل 4-3). في توقعات (Fichtner) للكهرباء، تم توضيح السيناريوهات الثلاثة التالية: متطلبات السعة المركبة عند 3081 ميجاواط لحالة الطلب الأساسي، و 3658.3 ميجاواط لحالة الطلب المرتفع، و 1842.2 ميجاواط القدرة المركبة لحالة انخفاض الطلب. استبعدت هذه السيناريوهات القطاعين الصناعي والتجاري واعتبرت 40٪ من السكان موصولين بشبكة التوزيع الرئيسية. وهذا يؤكد الارتفاع الكامن للطلب الحالي على الكهرباء في اليمن.

الشكل 4-4 يصور توليد الكهرباء حسب المصدر، مع إبراز دور النفط (زيت الوقود الثقيل، الوقود الثقيل ، والديزل) كأهم مصدر لتوليد الكهرباء على مدار تاريخ إمدادات الطاقة في اليمن، بحصة تتراوح بين 60-99٪ في الكهرباء منذ عام 2008. وفي عام 2009 عندما بدأت محطة توليد الكهرباء بالغاز مأرب 1 تشغيلها (بسعة مركبة 340 ميجاواط)، قام الغاز الطبيعي بتنويع مزيج الطاقة وشكل 20-40٪ من توليد الطاقة. في عام 2015 أوقفت محطة الكهرباء عملياتها بسبب الحرب. في عام 2018 استحوذ الغاز الطبيعي على ما يقرب من 9٪، بينما ساهمت الطاقة الشمسية ولأول مرة بحصة قياسية بلغت 13٪.

وخلاصة القول، يمكن تقسيم قطاع الإمداد بالكهرباء في اليمن إلى المكونات الثلاثة التالية: 1) شبكة توليد الكهرباء الموصولة بواسطة محطات توليد الكهرباء في صنعاء، عدن، تعز، الحديدة، ذمار، رداع، يريم، إب، الضالع ولحج وأبين وعمران والمحويت وحجة. 2) توليد الكهرباء خارج الشبكة عن طريق محطات توليد الكهرباء في حضرموت والمهرة وسقطرى وشبوة، وصعدة والجوف وريمة. 3) توليد الكهرباء اللامركزية على نطاق صغير نسبياً عن طريق مولدات الديزل ولكن أيضاً بشكل متزايد عن طريق تقنيات الطاقة الشمسية (Almohamadi, 2021). لقد ألحقت الحرب أضراراً بالغة بالبنية التحتية الحالية للكهرباء، وخاصة الشبكة المركزية والتي تتركز حول المراكز الحضرية وتخدم 40٪ فقط من السكان في البداية (Ansari et al., 2019). تشير التقديرات إلى أنه خلال الحرب تضررت حوالي 55٪ من البنية التحتية للكهرباء و8٪ دمرت حسب المرجع نفسه.

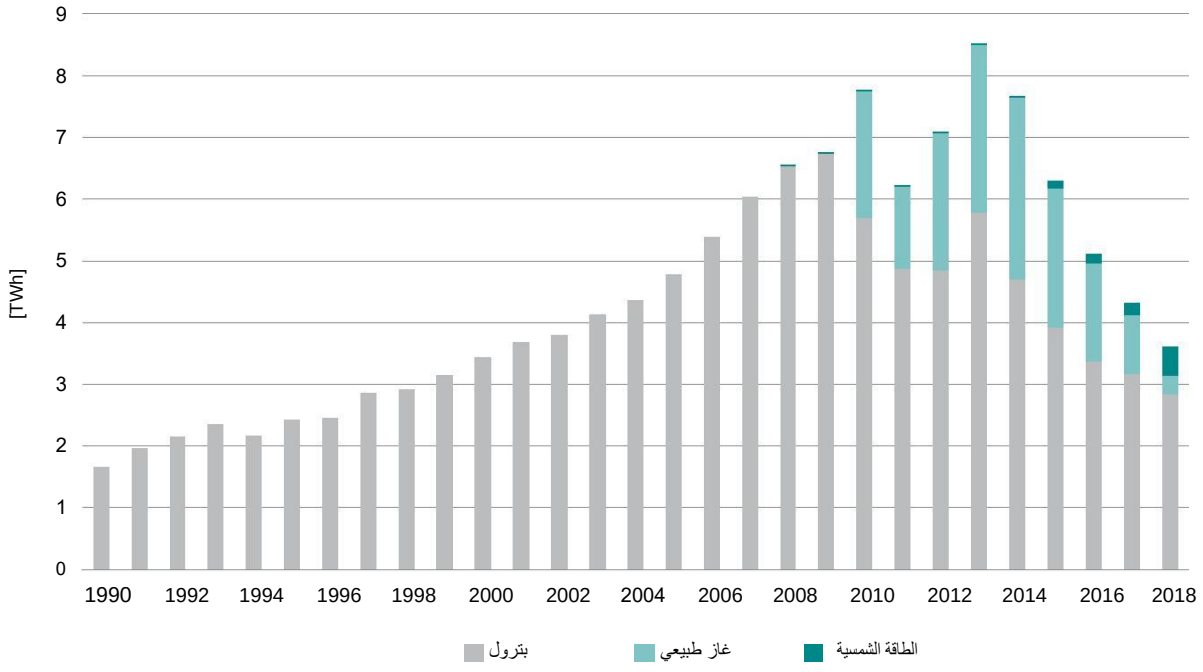
علاوة على ذلك، لا يمكن تلبية الطلب على الكهرباء في المناطق المتصلة بالشبكة. بالإضافة إلى تحديات العرض، يتزايد الطلب أيضاً بسبب النمو السكاني. ونتيجة لذلك يحدث فصل الأحمال يومياً بطريقة لا يمكن تلبية الاحتياجات الأساسية ولا يمكن توفير الخدمات العامة الأساسية. لتلبية احتياجات الطاقة اليومية، يستخدم غالبية السكان وخاصة في المناطق الريفية، موارد الكتلة الحيوية للطهي والتدفئة السكنية، مما يساهم في إزالة الغابات (Alkholidi, 2013). تستخدم الشركات الصناعية والمستشفيات والفنادق مولدات احتياطية خاصة لتأمين احتياجاتها اليومية. من الواضح أن اليمن تمتلك نظام طاقة عفا عليه الزمن ومدمّر جزئياً وغير كافٍ وغير قادر على تلبية الطلب على الكهرباء. علاوة على ذلك، تلعب مصادر الطاقة المتجددة حالياً دوراً هامشياً في البلاد. بسبب هذه العوامل يمكن تصنيف اليمن على أنه في مرحلة ما قبل المرحلة الأولية الموصوفة في نموذج مرحلة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا المطبق.

الشكل 4-3
استهلاك الكهرباء (بالتيراوات ساعة) ، اليمن 1990-2019



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ)

الشكل 4-4
توليد الكهرباء حسب المصدر (في تيراوات ساعة) ، اليمن 1990-2019



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ)

الطاقة المتجددة

الطاقة الشمسية

يتراوح المتوسط السنوي للتعرض للشمس في اليمن بين 5.2 - 6.8 كيلو واط ساعة / متر مربع/ يوم (Al-Ashwal, 2016; Sufian, 2019). وسجلت محافظتا البيضاء وذمار في المنطقة الوسطى الغربية أعلى متوسط سنوي لمستويات الإشعاع عند حوالي 6.8 كيلو واط ساعة / متر مربع / يوم (Sufian, 2019). تتلقى مناطق عمران وصنعاء وإب والضالع ومأرب اشعاعاً بين 6.6-6.7 كيلوواط ساعة / متر مربع / يوم. سجلت مناطق حجة والمحويت والحديدة والمهره أدنى مستويات اشعاعية عند 5.4-5.8 كيلو واط ساعة / متر مربع / يوم، بينما تستقبل محافظات الجوف وشبوة وحضرموت 6.0-6.3 كيلو واط / متر مربع / يوم. يتراوح الإشعاع في جزيرة سقطرى اليمنية حوالي 6.6 كيلو واط ساعة / متر مربع / يوم (المرجع نفسه). وبالتالي وبشكل عام، تتمتع اليمن بظروف مناسبة إلى حد ما لحصاد الطاقة الشمسية، حيث يقدر إجمالي إمكانات الطاقة الشمسية التقنية بحوالي 17 جيجاواط للطاقة الشمسية المركزة على نطاق واسع (CSP) و2.2 جيجاواط لأنظمة الطاقة الشمسية (Sufian, 2019).

علاوة على ذلك، استفادت مصادر الطاقة المتجددة من أزمة الطاقة في اليمن. في البداية بعد أن عجزت الشبكة العامة عن توفير كهرباء موثوقة استجاب السكان اليمنيون باستخدام المزيد من مولدات الديزل (Ansari et al., 2019). ومع ذلك وبسبب نقص الوقود، أصبح هذا الخيار أقل جاذبية، مما مهد الطريق لزيادة استخدام الطاقة الشمسية. وقد أطلق على ذلك اسم «ثورة الطاقة الشمسية في اليمن». في الواقع بدأت اليمن بالفعل في تجربة الطاقة الشمسية في عام 1980 مع أول مجموعة أبحاث للطاقة الشمسية في كلية الفيزياء بجامعة صنعاء. ومع ذلك فإن التطبيق الحقيقي للطاقة الشمسية في اليمن بدأ في مرحلة لاحقة في الوقت المناسب ويمكن وصفه في المراحل الأربع التالية:

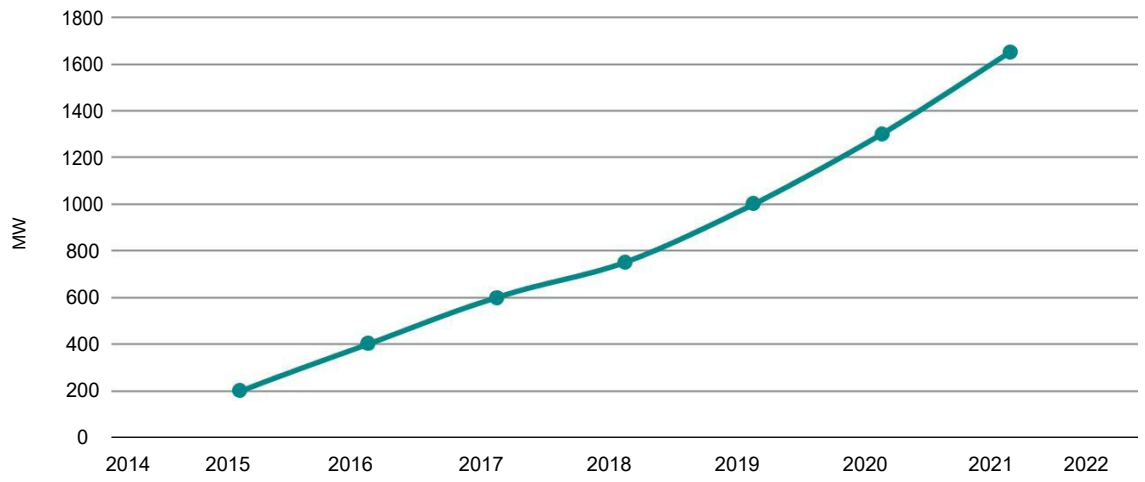
1) المرحلة الأولى (2010-2015): أصبحت الطاقة الشمسية إحدى الطرق المتبعة في المناطق خارج الشبكة لتلبية الطلب على الكهرباء، وبدأ نقص الديزل في الظهور في بداية الصراع في عام 2011. ومع ذلك كانت تكلفة نظام الطاقة الشمسية أعلى بكثير من مولدات الديزل الصغيرة التي هيمنت على السوق.
2) المرحلة الثانية (من بداية الحرب 2015 إلى 2017): أدى النقص الحاد في الديزل والغاز في البلاد بسبب الحرب إلى أن تصبح الطاقة الشمسية الخيار الأكثر شعبية وملاءمة لتأمين احتياجات الناس الأساسية من الكهرباء. بلغت قدرة الطاقة الشمسية 200-250 ميغاواط في هذه الفترة. ومع ذلك هيمنت الألواح الشمسية الرخيصة ومنخفضة الجودة على السوق؛ وفقاً للخبراء، حوالي 70٪ من مكونات النظام الشمسية، خاصة الوحدات والبطاريات، كانت لماركات مزورة أو ذات جودة سيئة.
3) المرحلة الثالثة (2018-2019): انخفض الطلب على الأنظمة الشمسية في القطاع السكني بسبب الفشل الكبير وضعف أداء الأنظمة الشمسية المركبة. عاد معظم الناس إلى شراء الكهرباء من مولدات الديزل التجارية المحلية التي يملكها القطاع الخاص. وهذا بدوره حفز التجار على البدء في استيراد مكونات الطاقة الشمسية عالية الجودة فقط. علاوة على ذلك تم تركيب قدر كبير من الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي من قبل المزارعين الذين بدأوا في استبدال أنظمة الديزل بالطاقة الشمسية لأنظمة ضخ المياه. تشير التقديرات إلى أن السعة السنوية للطاقة الشمسية زادت بنحو 200 ميجاواط في عام 2018 وبلغت 300 ميجاواط في عام 2019.
4) المرحلة الرابعة (2020 إلى أكتوبر 2021): بدأ تطبيق أنظمة الطاقة الشمسية الأكبر قليلاً بسعة تزيد عن 100 كيلوواط في القطاعات الزراعية والتجارية والصناعية. علاوة على ذلك في مايو 2020، ساهم القانون الجمهوري للإعفاء من الجمارك والضرائب في زيادة تطبيق أنظمة الطاقة الشمسية. بمعنى آخر، كانت السعة الإجمالية للأنظمة الشمسية المستوردة حوالي 250 ميغاواط فقط من بداية عام 2020 حتى مايو 2020، بينما وصلت إلى حوالي 350 ميغاواط بعد صدور القانون بنهاية عام 2020.

اكتسبت الطاقة الشمسية شعبية كبيرة بسرعة، لأنها توفر كهرباء آمنة وموثوقة. خلال الصراع المستمر، أصبحت الطاقة الشمسية في العديد من المناطق أهم مصدر للطاقة للأسر، وللقطاع الزراعي، والذي لعب بدوره عاملاً مهماً في تعزيز الأمن الغذائي أثناء الحرب والحفاظ على استقرار أسعار الخضروات والفواكه وغيرها من المنتجات الزراعية. كما أصبح مصدراً مهماً للطاقة للمرافق الطبية والتعليمية وكذلك الفنادق.

وفقاً للخبراء، يتجاوز توليد الطاقة الشمسية الحالي توليد الكهرباء التقليدي. أفادت البيانات الحكومية الرسمية أنه في عام 2013 كانت القدرة الفعلية 1.1 جيجاواط، وهو أقل بكثير من السعة المركبة 1.5 جيجاواط (Almohamadi, 2021). البيانات بعد عام 2013 غير متوفرة تقريباً، ويفترض الخبراء أن القدرة الفعلية قد انخفضت بشكل أكبر منذ ذلك الحين. حسب التقديرات التي تختلف عن الإحصاءات الرسمية، تم تركيب حوالي 1650 ميغاواط من أنظمة الطاقة الشمسية في عام 2021. (الشكل 4-5). كل توليد الطاقة الشمسية خاص وغير متصل بالشبكة. ومع ذلك لا تعمل كل هذه السعة بكفاءة بسبب الجودة المنخفضة لأنظمة الطاقة الشمسية والتركيب غير الدقيق وبعض الأضرار الناجمة عن القصف. علاوة على ذلك لا يزال التركيب المهني والمؤهل لأنظمة الطاقة الشمسية وصيانتها يمثل تحديات كبيرة في اليمن ولا يمكن ضمانها في كثير من الأحيان بسبب نقص المهندسين المحترفين (Ansari et al., 2019 2019).

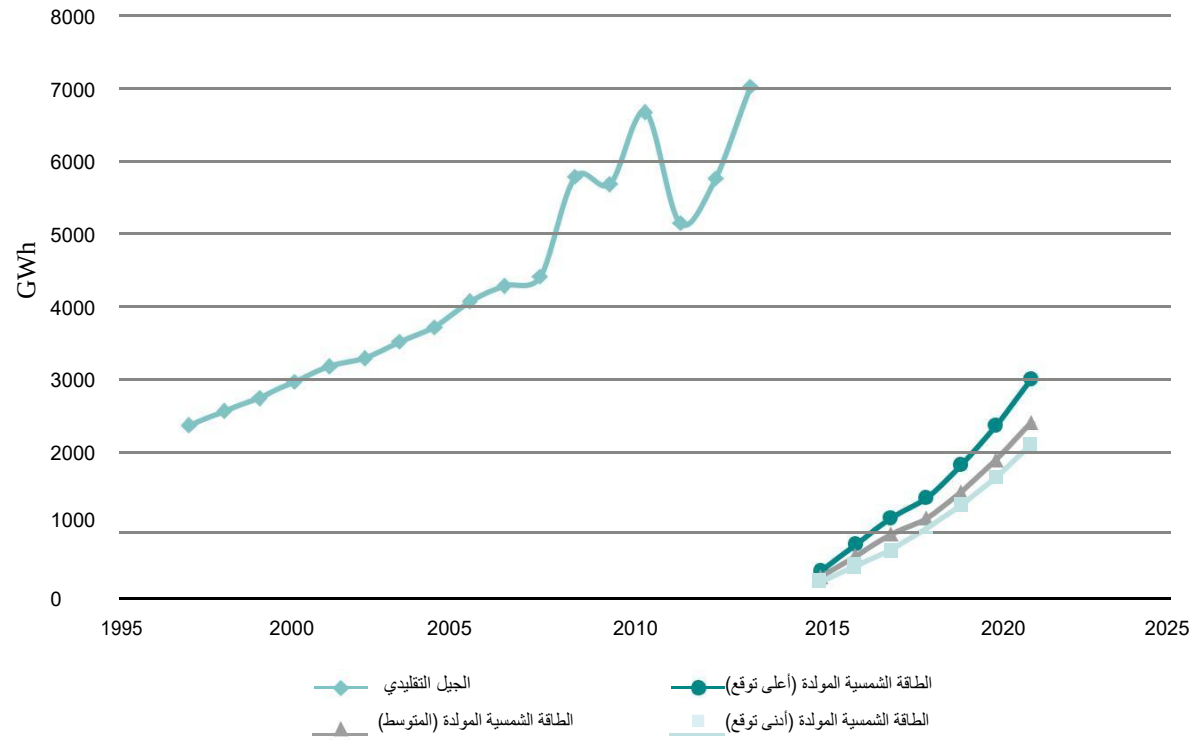
يقدر الخبراء اليمنيون أن العديد من الأنظمة الشمسية التي تم تركيبها قبل عام 2018 خارج الخدمة. ومع ذلك لا توجد بيانات رسمية حول أداء مخرجات الأنظمة الشمسية، والتي يمكن أن تختلف اختلافاً كبيراً وفقاً لجودة الوحدات وخبرة التركيب من الفنيين. لتقييم أداء الوحدات الشمسية بشكل أفضل من 2015-2021، تم استكشاف ثلاث فرضيات (حالات) حول إجمالي إنتاج الكهرباء المولدة: 1) تفترض الحالة الأساسية المولدة بالطاقة الشمسية أداء 80 ٪ من الوحدات، 2) حالة منخفضة من الطاقة الشمسية المولدة يفترض أداء 60٪ للأعوام 2015-2017 وأداء 70٪ للسنوات من 2018 فصاعداً ، و 3) تفترض الحالة العالية المولدة من الطاقة الشمسية أنه يمكن تلبية جميع الإمكانات التقنية للوحدات الشمسية، كتركيب الوحدات يتبع الزاوية الصحيحة والميل من قبل الفنيين لمنع أي خسائر فنية. الشكل 4-6 يصور توليد الطاقة الشمسية للحالات الثلاث حتى عام 2021 مقارنة بالجيل التقليدي المقدمة من المحطات المملوكة للحكومة حتى عام 2013 (لم يتم تضمين التوليد الخاص).

الشكل 4-5
وحدات الطاقة الشمسية المركبة (MW)



(المصدر: التجميع الخاص ، البيانات مقدمة من مروان ذمرين)

الشكل 4-6
توليد الكهرباء من المصادر التقليدية حتى عام 2013 (بيانات إحصائية) وتقديرات توليد الطاقة الشمسية بعد عام 2015 (جيجاواط ساعة)



المصدر: التجميع الخاص، البيانات مقدمة من مروان ذمرين

وبناءً على ذلك، شهدت أعمال الطاقة الشمسية في اليمن زيادة ملحوظة اعتباراً من عام 2015 فصاعداً. في عام 2016، بدأت منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) مشروع تعزيز الصمود الريفي في اليمن (ERRY) لتعزيز صمود المجتمعات الريفية، وبالتالي دعم امتصاص الطاقة الشمسية (Al-Saidi et al., 2020a). كجزء من هذا المشروع، تم إنشاء أنظمة ضخ المياه بالطاقة الشمسية ومشاريع تجريبية لتحلية المياه تعمل بالطاقة الشمسية.

على الرغم من الإعفاءات الجمركية التي تم تنفيذها في مايو 2020 للتكنولوجيا المتجددة، إلا أن إغلاق غالبية موانئ الشحن ساهم بشكل كبير في زيادة أسعار المكونات الشمسية وتأخير موعد وصول الشحنات. حالياً يتم استيراد معظم المكونات الشمسية، مثل الألواح الشمسية والبطاريات والأسلاك الكهربائية من الصين والهند. نظراً لأن غالبية الموانئ اليمنية مغلقة وتسيطر عليها قوات التحالف، تدخل المعدات عبر صلالة في عمان، ثم ميناء الشحر اليمني، وتستغرق حوالي 3 إلى 4 أشهر للوصول إلى المخازن الرئيسية في المدن اليمنية. قبل مايو 2020، بلغت الرسوم الجمركية على الوحدات الشمسية 18.5٪ ، بينما تراوحت نسبة الجمارك على البطاريات والمحولات بين 22-24٪ من التكلفة الإجمالية. بعد تطبيق قانون الإعفاء الجمركي، انخفضت الرسوم الجمركية إلى 3٪ و1٪ للشحنات البرية والبحرية على التوالي. تم إصدار مرسوم الإعفاءات الجمركية هذا فقط للتجار الذين يقدمون شهادات اختبار الجودة وفقاً للمعايير الدولية للجنة الكهرو تقنية الدولية (IEC). نتيجة لذلك لاحظ سوق الطاقة الشمسية تغيراً كبيراً من حيث المنتجات، حيث بدأ التجار والعملاء يدركون أهمية شراء المكونات الشمسية عالية الجودة بدلاً من المنتجات الرخيصة ذات الجودة المنخفضة. تم توقيع العقود الأولى من قبل تجار مع شركة ترينا سولار العالمية. في عامي 2020 و2021، قدر الخبراء اليمنيون أن ما بين 45٪ و 50٪ من إجمالي الوحدات الشمسية المشحونة كانت من شركات عالمية معروفة. على سبيل المثال، حتى نهاية أكتوبر 2021، تم شحن 100 ميجاواط من وحدات (Trina PV) و60 ميجاواط من وحدات (Jinko Solar) إلى اليمن.

على الرغم من ازدهار الأنظمة الصغيرة الحجم، لا توجد حالياً مشاريع طاقة شمسية واسعة النطاق. أكبر مشاريع الطاقة الشمسية في اليمن هي كما يلي:

1) 2.2 ميغاواط مزرعة حديبو للطاقة الشمسية في سقطرى تستخدم لتخزين الأسماك وتصديرها.
2) 800 كيلو واط مزرعة قلنسية للطاقة الشمسية في سقطرى تستخدم لتشغيل ثلاجات كبيرة لصناعة صيد الأسماك.
3) محطة توليد كهرباء بقدرة 610 كيلووات تعمل بالطاقة الشمسية تزود محطة مياه في بئر الناصر في مدينة عدن؛
4) محطة توليد طاقة بقدرة 537 كيلو واط تعمل بالطاقة الشمسية تزود محطة مياه في تالة في مدينة المكلا؛
5) محطة توليد كهرباء بقدرة 505 كيلو واط تعمل بالطاقة الشمسية تزود محطة المياه في حقل سماح بمدينة ذمار.
6) محطة طاقة بقدرة 300 كيلوواط تعمل بالطاقة الشمسية تزود المستشفى الجمهوري؛
7) محطة توليد كهرباء بقوة 256 كيلو واط تعمل بالطاقة الشمسية تزود محطة المياه في النواعم في مدينة حجة؛
8) محطة طاقة بقدرة 206 كيلووات تعمل بالطاقة الشمسية تزود المستشفى السعودي الألماني في مدينة صنعاء.

على الرغم من ازدهار الأنظمة صغيرة الحجم، إلا أن هناك حالياً العديد من العقبات الرئيسية التي تحول دون تطوير أنظمة الطاقة الشمسية التي تزيد عن 50 كيلوواط، لا سيما في قطاعي سي أند أي. أولاً، هناك حواجز مالية مثل الافتقار إلى آليات التمويل وكذلك صعوبات الحصول على مكونات عالية الجودة (مثل المحولات وأنظمة التحكم والأدوات وأدوات القياس) للأنظمة الشمسية الهجينة. ثانياً، وجود التحديات التقنية، مثل عدم وجود بيانات حول النظام الكهربائي الحالي وعدم كفاءة الخبرة الهندسية، توسع السوق. وأخيراً، لا يتم توفير ضمانات طويلة الأجل من تجار ومقاولي انشاءات الطاقة الشمسية للمالك. ولمواجهة بعض هذه التحديات، صدر قانون في عام 2021 لتطوير القوانين والمتطلبات المحلية لتركيب الأنظمة الشمسية في المباني والمنشآت الأخرى.

على الرغم من نجاحها الشامل، إلا أن استخدام الطاقة الشمسية يتميز بتباين جغرافي كبير. في حين أن 85٪ من الأسر في المناطق الجبلية المحيطة بصنعاء تمتلك الألواح الشمسية، فإن المحافظات الأخرى، حيث لا تزال الشبكة تعمل كما هو الحال في الشرق والجنوب وفي عدن، لديها حصص صغيرة من أنظمة الطاقة الشمسية (Ansari et al., 2019). المناطق الأخيرة إما متصلة بالشبكة العامة وتتلقى إمداداً محدوداً من المؤسسة العامة للكهرباء، أو لديها وصول أفضل إلى إمدادات الديزل لتشغيل المولدات التقليدية. على الرغم من أن تنفيذ الطاقة الشمسية في اليمن كان ناجحاً ويلعب بالفعل دوراً مهماً في تزويد البلاد بالكهرباء، إلا أن الحواجز التي تحول دون امتصاصها على نطاق أوسع لا تزال قائمة.

الرياح

لاستغلال موارد طاقة الرياح، تم تطوير خريطة لموارد الرياح، والتي تُظهر إمكانات طاقة الرياح العالية في اليمن. بناءً على هذه الخريطة، تقدر الإمكانات التقنية لطاقة الرياح بحوالي 34 جيجاواط (Sufian, 2019). المواقع المناسبة التي يمكن أن توفر أكثر من 3000 ساعة كاملة ستكون قادرة على إنتاج حوالي 14 جيجاواط، في حين أن المواقع التي تحتوي على 3500 ساعة تحميل كاملة يمكن أن تولد 2.5 جيجاواط (Al-Ashwal, 2016; Sufian, 2019). يتجاوز متوسط سرعة الرياح السنوية في الشريط الساحلي 8 متر / ثانية ، مما ينتج عنه إمكانات عالية لطاقة الرياح البرية والبحرية (Alkholidi, 2013). على وجه التحديد تتمتع سواحل البحر الأحمر والمنطقة الساحلية الجنوبية الغربية لليمن بقدرات رياح عالية. تعتبر المنطقة الشمالية الغربية من المخا على وجه الخصوص، واحدة من أكثر المناطق ملاءمة لتركيب طاقة الرياح. وفقاً للتقديرات، يمكن أن توفر هذه المنطقة حوالي 2 جيجاواط من طاقة الرياح، حيث يبلغ متوسط سرعة الرياح السنوية حوالي 7.4 متر / ثانية (المرجع نفسه). بالإضافة إلى سرعات الرياح المحتملة، فإن المساحات المفتوحة المفيدة والبنية التحتية الحالية للنقل تجعل مدينة المخا جذابة بشكل خاص لمشاريع طاقة الرياح. علاوة على ذلك تستقبل جزيرة سقطرى اليمنية سرعة رياح شديدة تتراوح بين 5-12 متر / ثانية. تتمتع العاصمة صنعاء بسرعات رياح تتراوح بين 4.1-5.2 متر / ثانية ، بينما تسجل عدن سرعة رياح تتراوح من 3.7 إلى 5.9 متر / ثانية ، وتستقبل تعز 6 متر / ثانية كأقصى سرعة للرياح (المرجع نفسه). ومع ذلك على الرغم من إمكانات طاقة الرياح من بين الأفضل على

مستوى العالم، لا توجد حالياً مزارع رياح تعمل في اليمن. تم تعليق المشاريع التي تم تطويرها قبل الحرب، مثل مشروع المخا على البحر الأحمر بطاقة 60 ميغاواط بسبب الاضطرابات السياسية (Alkholidi, 2013). بالإضافة إلى الحرب المستمرة، فإن هياكل صنع القرار البيروقراطية المعقدة والافتقار إلى سلطة مخصصة تشكل عقبات حاسمة أخرى أمام تطوير مشاريع طاقة الرياح وفقاً للخبراء.

الحرارة الأرضية

نظراً لموقع اليمن الأمثل عند تقاطع ثلاث صفائح تكتونية، تتمتع البلاد بإمكانيات عالية للطاقة الحرارية الأرضية (Sufian, 2019). وبحسب Al-Fakih and Li (2018)، تمتلك اليمن ثمانية حقول واعدة لحصاد الطاقة الحرارية الجوفية: الليسي إسبيل ، دمت ، الكافر الدرابي ، السياني - الجندية ، شرق وجنوب شرق تعز ، ريسيان الذبوب ، وكرش. يمكن أن تولد هذه الحقول 28.5 جيجاواط (Al-Ashwal, 2016). علاوة على ذلك كان هناك مشروع لبناء محطات لتوليد الطاقة الحرارية الأرضية في مدينة ذمار في الليسي، حيث أنها تمثل أكثر الحقول الواعدة والقريبة من شبكة النقل الوطنية. كان من الممكن أن تشكل محطات الطاقة قدرة إجمالية تتراوح بين 125 و250 ميجاواط، مدعومة باتفاقية شراء الطاقة (PPA). على الرغم من بدء الأعمال الهندسية الأولية، تم تعليق المشروع بسبب الحرب والصراع المحلي.

وبحسب الخبراء، فإن مجالات الطاقة الحرارية الجوفية في اليمن تتميز بموقعها وسط مناطق النمو السكاني، وقربها من المناطق الزراعية التي تحتوي على احتياطيات عالية من ثاني أكسيد الكربون، وقربها من الشبكة الوطنية، مما يجعل هذه المصادر أكثر تنافسية ومجدية اقتصاديا.

الكهرومائية

تعتبر الطاقة الكهرومائية من تقنيات الطاقة المتجددة غير المناسبة في اليمن، حيث إن مستويات توافر المياه في البلاد منخفضة، والتي تشتد الحاجة إليها للإنتاج الزراعي (Sufian, 2019). عادة ما تكون مجاري نهر الوادي في اليمن جافة، وتؤدي القمم والجريان السطحي المتكرر إلى جعل توافر المياه غير مؤكد إلى حد كبير. مشاريع تخزين المياه والخزانات التي هي قيد التطوير تأخذ في الاعتبار فقط استخدام مياه الشرب والري وليس إنتاج الكهرباء. لا تزال معدلات التبخر العالية واتصال البنية التحتية بمراكز الطلب تمثل تحدياً لمصدر الطاقة هذا.

طاقة المحيط

لم يتم النظر في طاقة المحيطات في المناقشة السياسية، على الرغم من أن الدراسات قد قيمت أنواعاً مختلفة من إمكانات طاقة المحيطات. وفقاً لمن تمت مقابلتهم، تم إجراء تقييمات لطاقة الأمواج في البحر الأحمر في منطقة باب المندب، ولكن لم يتم تضمين الجزء الجنوبي من المنطقة الساحلية (خليج عدن وبحر العرب). تشير النتائج إلى أن طاقة الأمواج المحتملة تتراوح بين 2 - 3.5 كيلو واط / م في هذه المنطقة، مع ملاحظة أنشطة موجية كبيرة خلال أشهر الشتاء. بالإضافة إلى ذلك، استنتجت تقييمات طاقة المد والجزر إلى أن المتوسط السنوي لارتفاع المد والجزر في نفس المنطقة يتراوح بين 1 - 1.5 متر. على الرغم من اقتراح التوربينات البحرية من قبل بعض المهتمين، لم يتم إجراء قياسات تجريبية أو دراسات تجريبية. يتميز الساحل الجنوبي باختلاف كبير في درجات الحرارة بين المياه السطحية ومياه أعماق البحار. يمكن استخدام هذا الاختلاف لتوليد الكهرباء وتحلية المياه من خلال مشاريع الطاقة الحرارية للمحيطات. ومع ذلك، لا تزال تكنولوجيا طاقة المحيطات في مرحلة مبكرة للغاية وتواجه تحديات تتعلق بتكاليف باهظة. لذلك فإن اعتماد طاقة المحيطات هو خيار محتمل لتوليد الكهرباء، لكنه ليس ممكناً ولا متوافقاً في ظل الظروف الحالية.

الكتلة الحيوية

يمكن لليمن أيضاً توليد الطاقة من الكتلة الحيوية. ومع ذلك، وفقاً Sufian (2019)، فإن الإمكانات من مخلفات المحاصيل والغابات ضئيلة. ومع ذلك، يمكن أن يكون الغاز الحيوي خياراً للمزارع الكبيرة أو في محطات معالجة مياه الصرف الصحي. بالنسبة لمنطقة عدن، تشير التقديرات إلى أنه يمكن توليد 0.53 ميجاواط من الغاز الحيوي للتدفئة أو الإضاءة أو الطهي (Sufian, 2019). تعمل العديد من محطات توليد الطاقة الصغيرة التي تعمل بالغاز الحيوي في قرى داخل اليمن، ويوجد مشروع تجريبي واحد (محطة طاقة الكتلة الحيوية) بسعة 100 كيلوواط في لحج.

لائحة الطاقة المتجددة

بدأ نشر أنظمة الطاقة المتجددة في اليمن في عام 2003. في ذلك الوقت، قدمت الحكومة الأموال لزيادة استخدام التقنيات الصغيرة (مثل أنظمة الطاقة الشمسية)، خاصة في المناطق النائية التي لا تتوفر فيها إمكانية الوصول إلى الشبكة الوطنية (Baharoon et al., 2016). وقود الأزمات والفقر في اليمن ومعظم البلدان النامية قضية حاسمة، والتي تتأثر بشكل كبير بالعوامل النفسية والسياقية والشخصية التي تؤثر على القبول العام. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المحددات الشخصية والنفسية التي تؤثر على معرفة الجمهور واتجاهاتهم ونواياهم السلوكية تجاه استخدام الطاقة الشمسية في قطاع الطاقة في المناطق الحضرية والريفية في اليمن. في هذه الدراسة يتم تقييم النوايا السلوكية للأفراد من خلال قياس مدى استعدادهم للدفع، والاستعداد لتغيير مصدر الكهرباء المستخدم حالياً أثناء انقطاع التيار الكهربائي، والاستعداد للاستثمار في تعريفة التغذية (FiT) بموجب بيان سياسة كهربة الريف (REPS) والذي تمت الموافقة عليه في يوليو 2008، تم تقديم رؤية لتنفيذ برنامج كهربة الريف. وهذا بدوره سمح بتطوير المزيد من المشاريع خارج الشبكة في المناطق الريفية وركز على استخدام مقدمي الخدمات المجتمعية والمستهلكين (Ajlan et al., 2016; والبنك الدولي 2009). ضمن هذا الإطار تم تركيب عدد كبير من أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية (SHS) في مناطق خارج الشبكة.

في يونيو 2009، وافقت الحكومة على الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة التي تهدف إلى زيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الكهرباء وخفض إجمالي الإنفاق على وقود الديزل. تم تقسيم أهداف الطاقة المتجددة لكهرباء الشبكة إلى ثلاثة سيناريوهات مختلفة:

1) توقع السيناريو المرتفع حصة 20٪ من مصادر الطاقة المتجددة في مزيج التوليد بحلول عام 2025 (3,467 جيجاواط ساعة)؛
2) استهدف السيناريو الأساسي، الذي تم الإفصاح عنه علناً في الأحداث الحكومية الرسمية، حصة 15٪ من الطاقة المتجددة في قطاع الطاقة بحلول عام 2025 (2600 جيجاواط ساعة)؛
3) توقع سيناريو السوق المنخفض حصة 10٪ من مصادر الطاقة المتجددة في مزيج التوليد بحلول عام 2025 (1.733 جيجاواط/ساعة).

تم تحديد الأهداف خارج الشبكة للسيناريوهات ذات الصلة على النحو التالي:

1) في السيناريو المرتفع، يجب تزويد 160.000 أسرة ريفية (65٪ من إمكانات السوق المحددة) بالكهرباء باستخدام أنظمة الطاقة الشمسية حتى عام 2025، بإجمالي قدرة مركبة تبلغ حوالي 8 ميجاواط؛
2) في السيناريو الأساسي، يجب تزويد 110.000 أسرة ريفية (45٪ من إمكانات السوق المحددة) بالكهرباء باستخدام أنظمة الطاقة الشمسية حتى عام 2025، بإجمالي قدرة مركبة تبلغ حوالي 5.5 ميجاواط؛
3) في سيناريو السوق المنخفض، يجب تزويد 60.000 أسرة ريفية (25٪ من إمكانات السوق المحددة) بالكهرباء باستخدام أنظمة الطاقة الشمسية حتى عام 2025، بإجمالي قدرة مركبة تبلغ 2.5 ميجاواط تقريباً.

تلخيص أهداف الطاقة المتجددة القائمة على الشبكة لسيناريو خط الأساس في الجدول 4-1 لكل تقنية على حدة. هذه هي الأهداف الأكثر شيوعاً التي أثيرت في الخطب الحكومية والأحداث الرسمية.

الجدول 4-1
أهداف الإستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة

مصدر طاقة	الهدف (ميغاواط)
الرياح	400
غاز النفايات المدفونة	6
الحرارة الأرضية	160

(المصدر: بيانات تستند إلى مقابلات الخبراء)

بالنسبة لقطاع التدفئة، سلطت الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة الضوء على استخدام سخانات المياه بالطاقة الشمسية. فيما يلي أهم الأهداف:

1) في السيناريو المرتفع، سيتم تركيب 300000 وحدة، والتي تمثل 60 ٪ من إمكانات السوق حتى عام 2025، مما يوفر حوالي 686 جيجاواط ساعة؛
2) في السيناريو الأساسي، سيتم تركيب 200000 وحدة، والتي تمثل 40٪ من إمكانات السوق حتى عام 2025، مما يوفر حوالي 457 جيجاواط ساعة؛
3) في السيناريو المنخفض، سيتم تركيب 100000 وحدة، والتي تمثل 20٪ من إمكانات السوق حتى عام 2025، مما يوفر حوالي 229 جيجاواط ساعة.

علاوة على ذلك، تهدف الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة إلى تسهيل الاستثمارات من القطاع الخاص لإنشاء مكتب تنظيمي (مجلس تنظيم قطاع الكهرباء) وهيئة جديدة (هيئة كهربة الريف). ومع ذلك وبسبب الحرب الأهلية المستمرة، تبدو هذه الأهداف بعيدة المنال حالياً.

قبل هذه الإستراتيجية، تمت الموافقة على إستراتيجية إصلاح قطاع الطاقة في عام 2001. هدفت هذه الإستراتيجية إلى فصل التوليد والنقل والتوزيع. كما تخطط لإنشاء هيئة تنظيمية مستقلة لتعزيز المنافسة في قطاع التوليد. وتضمنت أهدافها الأخرى تحويل المؤسسة العامة للكهرباء إلى منشأة مؤسسية، وإدخال تعريفات كهربائية غير مجمعة، وخصخصة أعمال الكهرباء (المرجع نفسه). ورغم ذلك هذه الأهداف لم يتم تنفيذها بعد.

روج وزير الكهرباء السابق مصطفى بهران لرؤية بهران 20/20. ركزت هذه الرؤية على إعادة هيكلة سوق الطاقة واللوائح والسياسات، بهدف زيادة إجمالي إنتاج الكهرباء إلى 20 جيجاواط بحلول نهاية عام 2020. تم اقتراح استخدام الغاز والرياح والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الشمسية المركزة لتنويع مزيج الكهرباء. ورغم ذلك هذه الرؤية لم توافق عليها الحكومة اليمنية.

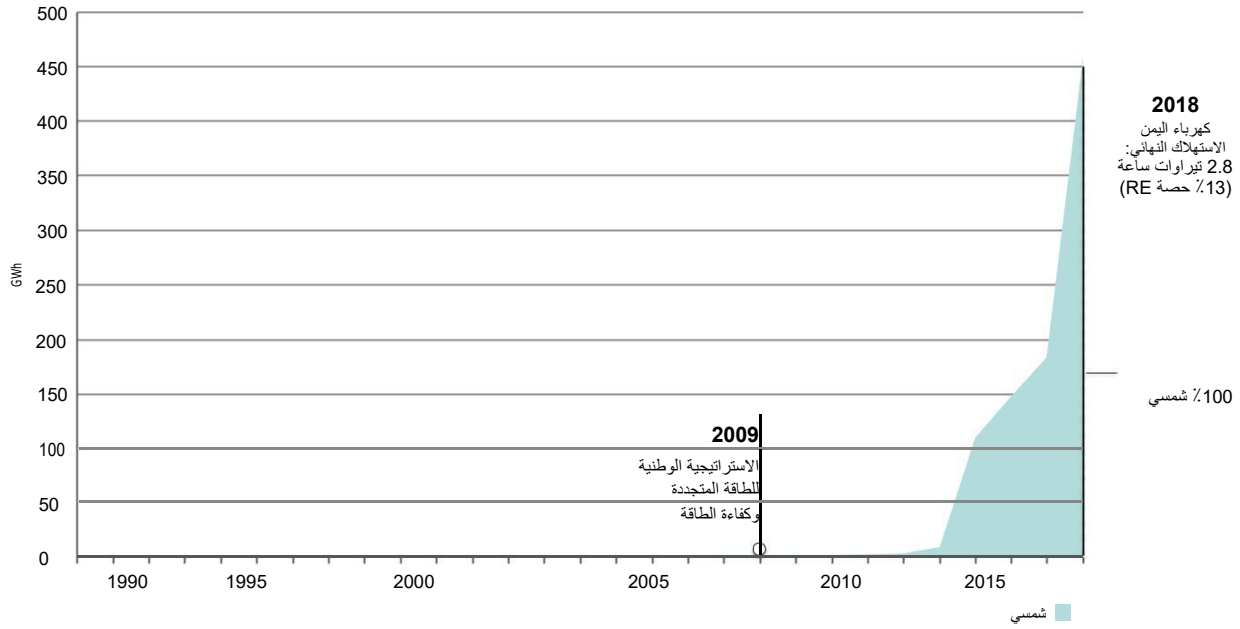
يصور الشكل 4-7 إدخال تدابير سياسة الطاقة الموصوفة وتوليد الكهرباء المتجددة حسب السنة. يوضح الرسم البياني أن تدابير السياسة لم تؤثر على النمو في استخدام الطاقة الشمسية. في الواقع حدث النمو بشكل أساسي بسبب الظروف التي تطورت خلال الحرب، والتي خلقت الحاجة إلى مصادر كهرباء بديلة. يوضح الشكل 4-7 أن أنظمة الطاقة الشمسية أصبحت مصادر موثوقة للطاقة أثناء النزاع وبدأ تطبيقها على نطاق واسع من قبل الأسر والمزارعين اليمنيين.

باختصار، يبدو أن الحكومة اليمنية غير قادرة على زيادة انتشار مصادر الطاقة المتجددة، حيث أدت الحرب إلى خلل شديد في الترتيبات المؤسسية. ومع ذلك فقد ساهم الصراع العسكري في الاستخدام الواسع للطاقة الشمسية بدافع الضرورة، نظراً لأن المصادر الأخرى كانت تفتقر إلى الإمدادات أو باهظة الثمن أو غير متوفرة. لذلك يبدو أن تنفيذ الطاقة الشمسية مدفوع بالاحتياجات وليس بدوافع سياسية. ومع ذلك لا توجد حتى الآن مشاريع كبيرة الحجم، ولا تزال الحصة الإجمالية للطاقة الشمسية في المزيج منخفضة، ولا يوجد إطار تنظيمي معمول به. وفقاً لذلك، لا تزال مصادر الطاقة المتجددة تحتل مكانة مناسبة فقط في اليمن. لذلك يمكن تصنيف اليمن على أنه في مرحلة ما قبل نموذج المرحلة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

قطاع الوقود الاحفوري

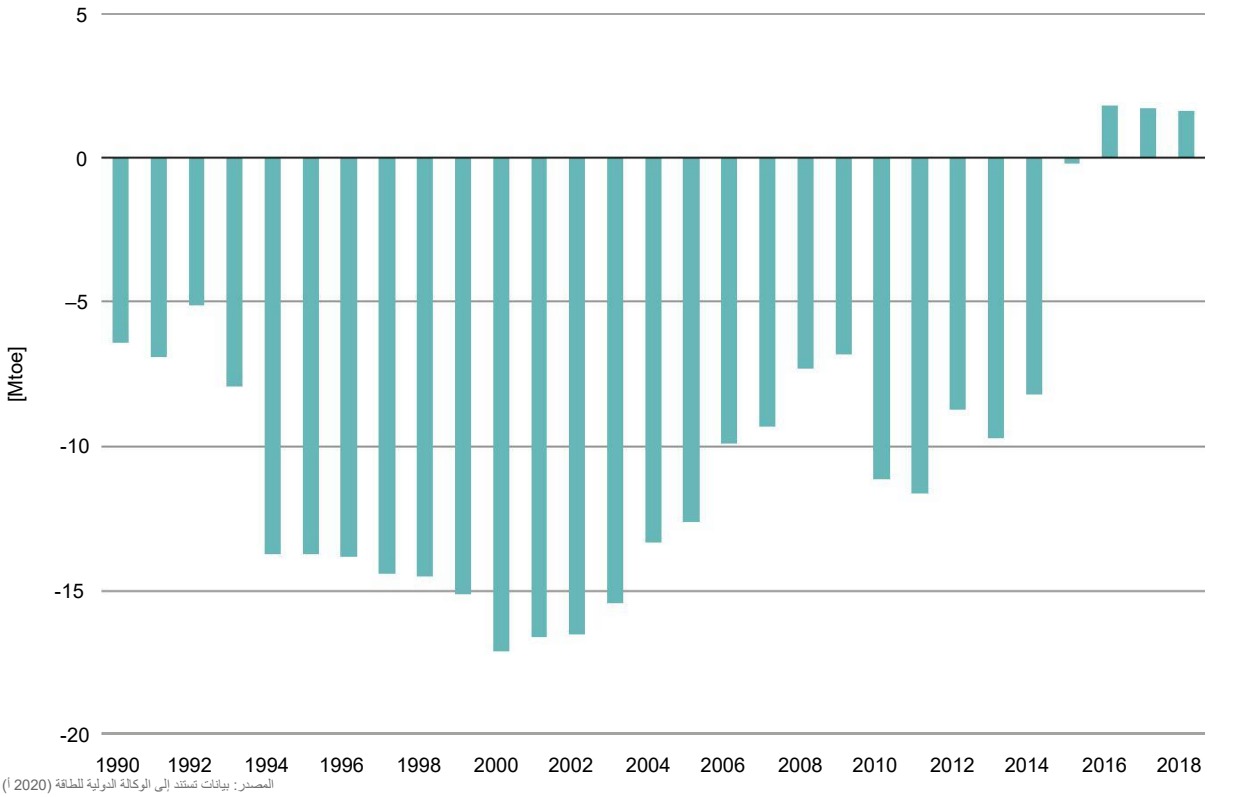
تدير الدولة قطاع النفط والغاز في اليمن بشكل أساسي، ويشمل إنتاج النفط وتكريره وتوزيعه (Atamanov, 2017). تشارك الشركات الخاصة في أنشطة التنقيب عن النفط وإنتاجه وكذلك في تعبئة وتوزيع زجاجات غاز البترول المسال (LPG) والمنتجات البترولية. قبل الحرب، كان الاقتصاد اليمني يعتمد إلى حد كبير على عائدات قطاع النفط المتدهور، والتي تمثل 27٪ من الناتج المحلي الإجمالي، و50٪ من إيرادات الميزانية الوطنية، و 70٪ من الصادرات (الجمهورية اليمنية 2015). نتيجة لنقص الميزانية السنوية، حاولت الحكومة تنويع الهيكل الاقتصادي بدعم من برنامج صندوق النقد الدولي (IMF). كان تخفيض دعم الوقود أحد الإجراءات التي تم اتخاذها في إطار هذا الإصلاح. يوضح الشكل 4-8 أن اليمن كان مصدراً صافياً للطاقة حتى 2015.

الشكل 4-7
تطوير توليد الكهرباء المتجددة حسب المصدر (بالجيغاواط ساعة) وإدخال تدابير سياسة الطاقة، اليمن 1990-2018



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ)

الشكل 4-8
واردات الطاقة الصافية (Mtoe) ، في اليمن 1990 - 2018



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ)

من عام 2016 إلى عام 2018، أصبحت اليمن تعتمد إلى حد كبير على واردات الطاقة، حيث تأثرت الهياكل المحلية في قطاع النفط بشكل خطير بالحرب. ومع ذلك ووفقاً لبيانات رسمية من خلال مقابلات الخبراء، لا يزال اليمن يمتلك احتياطياً من الغاز يبلغ حوالي 18 تريليون متر مكعب، ويبلغ احتياطي النفط ما يقرب من 10.4 مليار برميل.

منذ أن تضررت شبكة الكهرباء بشدة من الصراع العسكري، لجأت العديد من الأسر إلى مولدات الديزل وشبكات الديزل الخاصة (Ansari et al., 2019). أدى النقص في الوقود إلى قيام سوق سوداء منظمة لبيع وقود الديزل بأسعار عالية. في الوقت نفسه سجلت الشركة اليمنية لتوزيع المنتجات النفطية (YOPDC) انخفاضاً في مبيعات الوقود بنسبة 77٪ في عام 2015 (Almohamadi, 2021). على الرغم من تحسن توافر الوقود بحلول عام 2016، لا تزال تحدث اضطرابات متكررة في الإنتاج وهجمات تخريبية، مع تواتر خاص تم تسجيله في النصف الثاني من عام 2019. (المرجع نفسه)

كما أثر الصراع العسكري بشدة على قطاع الوقود الأحفوري. أوقف العديد من شركات النفط والمشغلين أنشطتهم الإنتاجية بسبب الهجمات المعادية على البنية التحتية؛ فقط عدد قليل من الشركات بدأت العمل مرة أخرى. لهذه الأسباب لم يكن هناك سوى مقاومة قليلة من لوبي الغاز والنفط ضد التحول لمصادر الطاقة المتجددة. وفقاً لخبراء يمنيين، لن يكون لخطط نقل الطاقة الخاصة بالدول المستوردة للغاز اليمني، مثل كوريا الجنوبية، سوى تأثير محدود على اليمن. بدلاً من ذلك، يعتبرون هذا التطور فرصة لليمن للاحتفاظ بالغاز للاستهلاك المحلي والتنمية المحلية وتوليد الكهرباء. وهذا يعني أن الغاز سيظل ركيزة مهمة في استراتيجية الطاقة في اليمن على المدى الطويل وأن الانتقال إلى نظام قائم على الطاقة المتجددة من المرجح أن يستغرق فترة زمنية أطول.

البنية التحتية

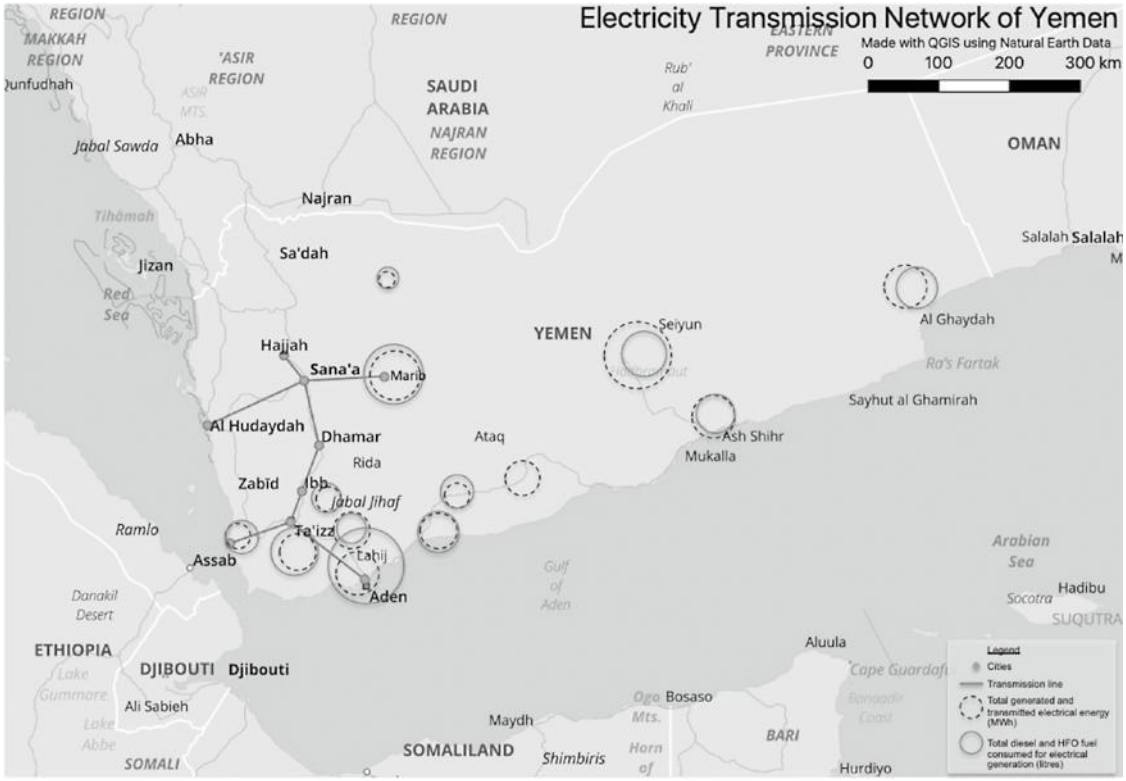
شبكة الكهرباء اليمنية غير قادرة حالياً على تلبية الطلب، وهي غير مستقرة، مما أدى (كما ذكرنا سابقاً) إلى تساقط الأحمال بشكل متكرر. منذ عام 2018، تتكون شبكة النقل في اليمن من شبكة رئيسية واحدة 132 كيلوفولت، كما هو موضح في الشكل 4-9. محطة كهرباء مأرب الغازية موصولة بالشبكة الرئيسية عبر خط نقل مزدوج 400 كيلوفولت (Sufian, 2019). هناك خطط لربط مأرب بالمحطة الفرعية 132 كيلوفولت في ذمار بخط 400 كيلوفولت. هناك العديد من الشبكات الأصغر في المنطقة الشرقية الوسطى من اليمن، بينما حول صعدة شمال صنعاء، تم إنشاء شبكات معزولة غير متصلة بشبكة النقل الرئيسية (المرجع نفسه). قبل الحرب تم تطوير العديد من المشاريع لتوسيع الشبكة داخل اليمن. على سبيل المثال، تم التخطيط لمشاريع تمديد الشبكة التالية: عمران - باجل (الحديدة) ، عبر حجة والقناوص (الحديدة) وكذلك ذمار - عدن ، عبر يريم (إب) والحوبان (تعز) (Almohamadi, 2021). ومع ذلك تم تعليق هذه المشاريع بسبب الصراع العسكري. إلى معظم المناطق التي يسيطر عليها الحوثيون، ولا سيما حجة وصعدة وعمران، لا يتم توصيل الكهرباء من الشبكة العامة. على الرغم من أن محطة كهرباء مأرب الغازية تقع بالقرب من المناطق التي يسيطر عليها الحوثيون، إلا أن التيار الكهربائي متقطع حالياً (Ansari et al., 2019).

كما ذكرنا سابقاً، يتم إنتاج الكهرباء في اليمن بشكل أساسي من خلال محطات توليد الطاقة التي تعمل بالنفط. حوالي 684 ميغاواط تعمل بالديزل، 495 ميغاواط هي توربينات بخارية، و 340 ميغاواط تعمل بالغاز (Sufian, 2019). وتتراوح الفولتية لمحطات الطاقة الكهربائية بين 10.5 كيلوفولت و 15 كيلوفولت وتزداد في المحطات الفرعية لمستويات نقل 33 كيلوفولت أو 132 كيلوفولت أو 400 كيلوفولت (المرجع نفسه). تُنقل الكهرباء عادة عبر 33 كيلوفولت إلى مراكز الطلب، بينما تستخدم شبكة التوزيع مستويات جهد 11 كيلوفولت.

تعاني شبكة نقل الكهرباء اليمنية من خسائر كبيرة في الطاقة في شبكة التوزيع وفي شبكة النقل بسبب خطوط الشبكة القديمة وغير الفعالة. نتيجة للأضرار التي حدثت أثناء الحرب، لا يمكن دائماً نقل الكهرباء من محطات الطاقة التشغيلية إلى الشبكة. وبالتالي، فإن معظم المناطق المتصلة لا تزال تفتقر إلى الإمدادات. ومن الأسباب الأخرى لارتفاع خسائر الكهرباء نقص الخدمة والصيانة، ونقص الاستثمار العام، وسرقة الكهرباء (Ansari et al., 2019). قبل حرب عام 2012، ضاع أكثر من 40٪ من الكهرباء المولدة، وبلغت الخسائر الفنية وغير الفنية لقطاع التوزيع 36٪ أو 2,329.1 جيجاواط ساعة (Almohamadi, 2021). سجلت خسائر كبيرة في صنعاء وعدن والحديدة وحضرموت الساحل. كان قطاع التوليد مسؤولاً عن حوالي 5.5٪ من الخسائر.

يوضح الشكل 4-9 شبكة نقل الكهرباء في اليمن 132 كيلوفولت، ومواقع إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة والمرسلة، وإجمالي الديزل ووقود الزيت الثقيل المستهلك للتوليد داخل الإقليم بأكمله لعام 2018. حجم الدوائر يتوافق مع مقياس الاستهلاك. قبل الحرب تم تقييم الشبكة على أنها كافية لاستيعاب حوالي 120 ميغاواط من طاقة الرياح. ومع ذلك، في حالتها الحالية يمكن للشبكة دمج كميات صغيرة فقط من مصادر الطاقة المتجددة المتقلبة. وفقاً للخبراء، سيكون من الضروري إجراء دراسات تكامل الشبكة المستقلة لكل محطة طاقة متجددة مخطط لها حديثاً. دراسة أجراها الأشول وآخرون. (2016) يحلل إمكانيات دمج الأنظمة الشمسية السكنية في الشبكات المحلية. على الرغم من أن النتائج الأولية تظهر أن تكامل هذه الأنظمة ممكن، إلا أن الدراسة خلصت إلى أن التحدي الأكبر أمام التكامل سيكون نقص أجهزة القياس والتحكم. تضيف المعايير والرموز المفقودة التي توضح آلية الاتصال بالشبكة لتجنب عدم الاستقرار بالإضافة إلى السعة الشمسية المسموح بها إلى هذا التحدي. علاوة على ذلك يشكل نظام التحكم القديم للشبكة الوطنية حاجزاً أمام تكامل القدرات المتجددة الأكبر. علاوة على ذلك، وفقاً للخبراء هناك نقص كبير في الموظفين المؤهلين الذين يمكنهم إدارة هذه التحديات التقنية بشكل مناسب. لا سيما في مجال البنية التحتية للشبكات، لا يوجد عمال محترفون. ومع ذلك يعتقد الخبراء الذين تمت مقابلتهم أن ما يصل إلى 20٪ من الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة، مثل الرياح والطاقة الشمسية، يمكن دمجها في الشبكة بحلول عام 2025. باختصار، لا توفر البنية التحتية للنقل في اليمن القدرة الكافية لتلبية الطلب. يجب عمل جهود إعادة البناء والإرشاد المستقبلية بشكل مباشر وبطريقة تسمح بإدماج متقطع للطاقة المتجددة في الشبكة على نطاق واسع.

الشكل 4-9
توضح شبكة نقل الكهرباء اليمنية مناطق إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة والوقود المستهلك



المصدر: الإنشاء الخاص ، البيانات بناءً على بيانات الطاقة (2017 أ) ؛ Sufian (2019)

في الوقت نفسه، يجب بذل الجهود لمعالجة النقص في الكوادر المؤهلة والمحترفة في اليمن. وفقاً لذلك يمكن تصنيف الحالة الراهنة للبنية التحتية للكهرباء في اليمن على أنها في مستوى ما قبل المرحلة لنموذج مرحلة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

المؤسسات والحوكمة

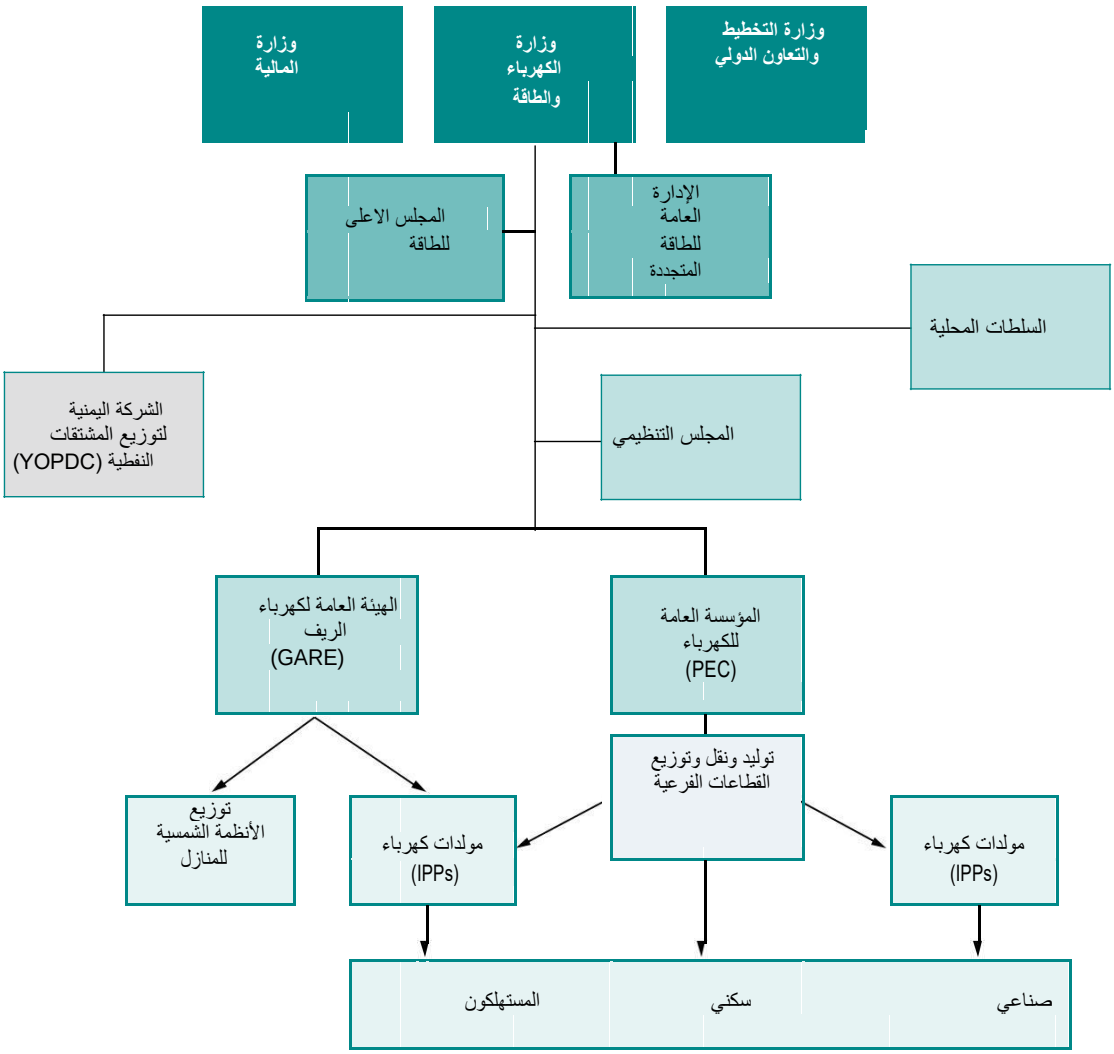
يتم تنظيم قطاع الكهرباء في اليمن من قبل وزارة الكهرباء والطاقة، تعد الوزارة السياسات والخطط الاستراتيجية، وتمنح التراخيص، وهي مسؤولة عن اتخاذ القرار (Hadwan & Alkholidi, 2016; Sufian, 2019). يتم تشغيل توليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها من قبل المؤسسة العامة للكهرباء، التابعة لوزارة الكهرباء (Rawea & Urooj.2018) . يفترض أن تتمتع المؤسسة باستقلال مالي وإداري وتشرف على تحصيل فواتير الكهرباء. ومع ذلك، فإن الأداء التجاري الضعيف جعل المؤسسة العامة للكهرباء تعتمد إلى حد كبير على المخصصات المالية الحكومية للاستثمارات بالإضافة إلى التكاليف التشغيلية (Almohamadi, 2021). بينما تتولى المؤسسة العامة للكهرباء مبيعات التجزئة في المناطق الحضرية، فإن مبيعات التجزئة في المناطق الريفية تدار من قبل الهيئة العامة لكهرباء الريف بموجب قانون الكهرباء رقم 1 لعام 2009 (Sufian, 2019). الهيئة مسؤولة عن توفير خدمات الكهرباء في المناطق الريفية. يتم تحديد التعرفة من قبل مجالس تنظيم قطاع الكهرباء التي تراقب أيضاً التزام القطاع الصناعي باللوائح (Sufian, 2019). كان القصد من هذا المجلس أن يعمل كوكالة مؤقتة حتى يتم إنشاء هيئة تنظيمية مستقلة (Almohamadi, 2021). ومع ذلك، بسبب الحرب لم يتم إنشاء السلطة.

علاوة على ذلك، تشارك العديد من الهيئات الحكومية الأخرى في قطاع الطاقة، مثل المجلس الأعلى للطاقة. قبل الحرب، قام هذا المجلس بمراجعة ووضع الاستراتيجيات والسياسات لقطاع الكهرباء، وكان يتألف من وزير الكهرباء والطاقة اليمني، ووزير التخطيط والتعاون الدولي، ووزير المالية، ووزير النفط والثروة المعدنية، وأمين مجلس الوزراء. على سبيل المثال، تمت الموافقة على تحديد تعرفة الكهرباء من قبل رئيس الوزراء فقط بعد موافقة مجلس الوزراء عليها. كيان آخر مهم في قطاع الطاقة هو المؤسسة العامة للنفط والغاز والثروة المعدنية (GCOGMR) ، التي تدير عقود الصناعة والمسؤولة عن صادرات النفط الخام. تنتمي العديد من الشركات التابعة المملوكة للدولة إلى GCOGMR: شركة النفط اليمنية (YOC) ، الشركة اليمنية للتكرير (YRC) ، هيئة التنقيب عن البترول وإنتاجه (PEPA) ، شركة الغاز اليمنية (YGC) ، الشركة اليمنية للغاز الطبيعي المسال (YLNGC) ، الإدارة العامة لتسويق النفط الخام YOPDC ، وشركة صافر للاستكشاف والإنتاج (Almohamadi, 2021). تقوم شركة YOPDC بتزويد محطات الطاقة بالوقود بسعر مدعوم، بالتنسيق مع وزارة المالية (المرجع نفسه). الهيئة التي تشرف على قطاع النفط والغاز هي وزارة النفط والثروة المعدنية (MOM) .

الشكل 4-10 يوضح الإطار المؤسسي لسوق الكهرباء والطاقة في اليمن.

قبل الحرب كان قطاع الكهرباء في اليمن منظماً بشكل عمودي، وهو أمر معتاد جداً في منطقة الشرق الأوسط. ومع ذلك كان إصدار قانون الكهرباء رقم 1 في عام 2009 خطوة مهمة تم اتخاذها لإعادة هيكلة قطاع الكهرباء.

الشكل 4-10
هيكل سوق الكهرباء مع الهيئات والشركات ذات الصلة



المصدر: ابتكاره الخاصة ، بيانات مستوحاة من Almohamadi, 2021 (2021)، Sufian (2019)

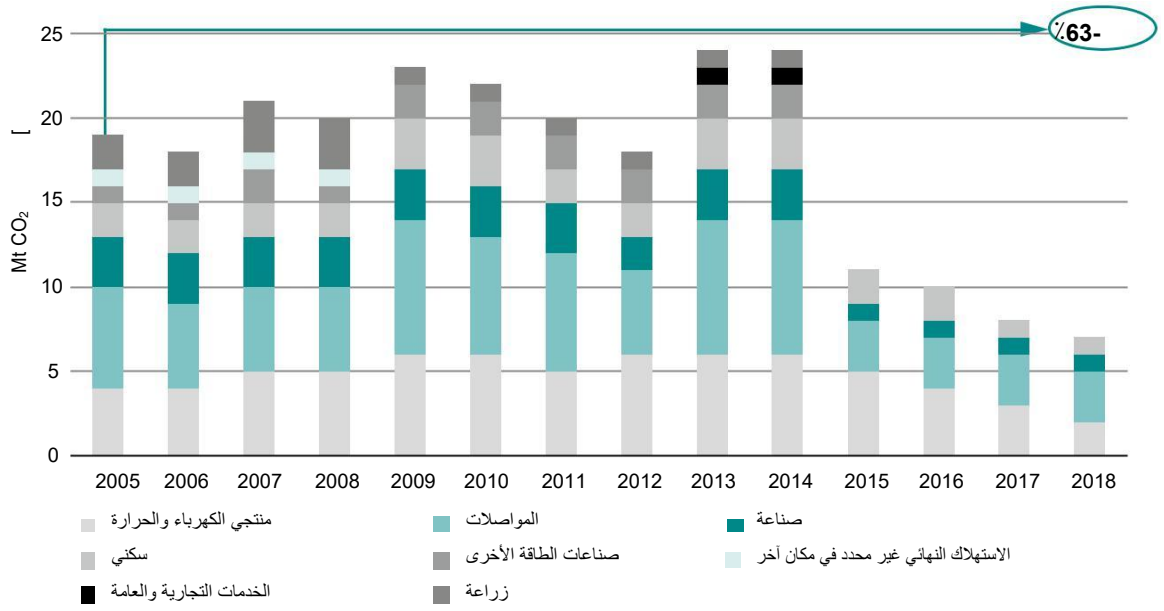
كما أدخل القانون قسماً جديداً هو "الإدارة العامة للطاقة المتجددة" لدعم انتقال قطاع الطاقة نحو مصادر الطاقة المتجددة. كان التشكيل المخطط لهيئة تنظيمية مستقلة لفصل توليد الكهرباء وتوزيعها علامة بارزة أخرى. ومع ذلك كما ذكرنا سابقاً، لم يتم بعد تنفيذ سلطة تنظيمية مستقلة. في بداية الحرب أصبح الإطار المؤسسي معطلاً، ولم يتم بعد تنفيذ جهود التحرير المخططة في البداية. بناءً على الوضع الحالي، لا تزال اليمن في مرحلة ما قبل الانتقال نحو تعلم المخاطر وفقاً لنموذج المرحلة المطبق.

سوق الطاقة والاقتصاد

تعتمد التعريفات في الشبكة العامة الحالية على نظام تعريفة مجمعة متزايدة (IBT) والذي يفرض سعراً أعلى لكل كيلوواط ساعة لمستويات استهلاك طاقة أعلى (Atamanov, 2017). يبلغ متوسط تعريفة السعر 23.14 ريالاً سعودياً تقريباً أو 10.75 سنتاً أمريكياً للكيلوواط ساعة، وهو ما يمثل قيمة أقل بكثير من تكلفة الإنتاج (Sufian, 2019). بالإضافة إلى ذلك، يتم تقسيم تسعير الكهرباء إلى فئات مختلفة مع تعريفات مختلفة.

الفئات هي: الأسر الحضرية، والأسر الريفية، والقطاع التجاري الصغير، والقطاع التجاري الكبير، والفنادق، والزراعة، والصناعات الكبيرة، ومصانع الأسمنت، وضخ المياه العامة، والمباني الحكومية. توجد أربع مجموعات تكلفة للأسر الحضرية: لما يصل إلى 200 كيلوواط الساعة، تكلف ما يصل إلى 2.8 سنتاً أمريكياً / كيلوواط ساعة، وتصل إلى 350 كيلو واط في الساعة إلى 4.2 سنتاً أمريكياً / كيلوواط ساعة، وتكاليف تصل إلى 700 كيلوواط في الساعة 12 سنتاً أمريكياً / كيلوواط ساعة ، والاستهلاك أكثر من 700 كيلوواط ساعة شهرياً يعني تكلفة 8.8 دولار أمريكي / كيلوواط ساعة. على النقيض من ذلك، هناك فئتان من التكاليف للأسر الريفية: لما يصل إلى 100 كيلووات في الساعة، فإن التكلفة تصل إلى 4.2 سنت أمريكي / كيلوواط ساعة ، ولأكثر من 100 كيلوواط في الساعة تبلغ 8.8 سنت أمريكي / كيلوواط ساعة. وتتراوح تعريفات المنشآت التجارية والفنادق والقطاع الزراعي والصناعة ومصانع الأسمنت وضخ المياه العامة والمباني الحكومية بين سنت 12 و 16 سنت أمريكي (Sufian, 2019) . يتم تطبيق تعرفة الكهرباء فقط في المحافظات الخاضعة لسيطرة الحكومة اليمنية، حيث لا تزال الكهرباء مدعومة بشكل كبير من قبل وزارة الكهرباء. ورفعت المحافظات الشمالية الخاضعة لسيطرة الحوثيين دعم الكهرباء، ما أدى بدوره إلى زيادة التعرفة في هذه المناطق. ومع ذلك فقد تم تحديد التعرفة وفقاً للمناخ والظروف الاقتصادية في كل مدينة. فمثلا،

الشكل 4-11
انبعاثات CO_2 حسب القطاع (في $MtCO_2$) ، اليمن 2005-2018



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ)

تبلغ التعريفة الحالية في المدن الحارة وذات الدخل المنخفض، مثل الحديدة، 70 ريالاً يمنياً للكيلوواط ساعة (حوالي 11 سنتاً أمريكياً)، في الجوف 130 ريالاً يمنياً للكيلووات ساعة (حوالي 21 سنتاً)، بينما في صنعاء 225 ريال يمني للكيلوواط ساعة (حوالي 37.5 سنت أمريكي).

نظراً لعدم قدرة الشبكة العامة على تغطية الطلب، يتم توفير الكهرباء أيضاً من قبل جهات خاصة (Al-Saidi, 2020b). على سبيل المثال، على مستوى الأحياء، يستخدم بائعو الكهرباء الخاصون ولا سيما في المدن الكبرى (مثل صنعاء)، مولدات الديزل التي تزيد سعتها عن 100 كيلوواط لبيع الكهرباء للمنازل. على الرغم من أن تعريفة هذا الخيار تقارب 10 أضعاف متوسط سعر التوريد من الشبكة العامة، يختار العديد من العملاء من القطاع الخاص هذا النموذج لتأمين إمدادات الكهرباء الخاصة بهم. على سبيل المثال، يستخدمونها لتشغيل مضخات المياه الزراعية، وتزويد المحلات التجارية، وتشغيل الأجهزة الأخرى اللازمة لتلبية الاحتياجات الأساسية (المرجع نفسه). يخضع نموذج الكهرباء هذا أيضاً لسيطرة الحكومة التي يديرها الحوثيون، لكن له عدة عيوب، حيث يعتمد على توافر الوقود ويخضع لتقلبات الأسعار في السوق (Al-Saidi, 2020b).

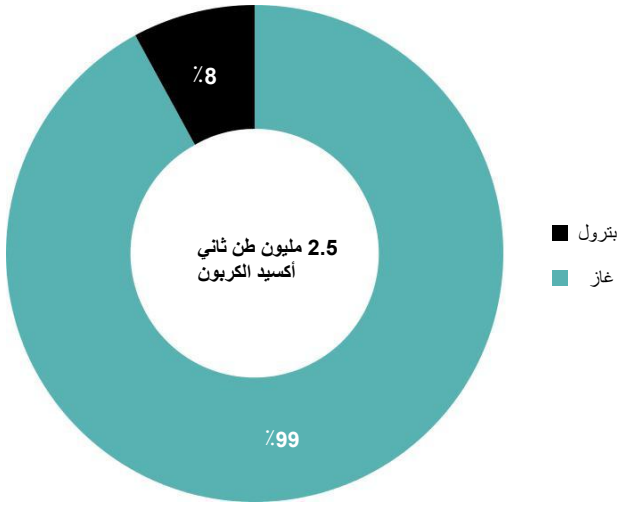
تصل أسعار الوقود حاليا إلى حوالي 70٪ من المستوى العالمي، حيث لا تزال مدعومة من قبل الحكومة. إلى جانب تراجع عائدات النفط ونقص الوقود الإضافي، تبنت الحكومة سياسة الرفع التدريجي للدعم (Sufian, 2019). بين عامي 1995 و2021، ارتفعت الأسعار بنسبة 130٪ في المتوسط. كما ارتفعت أسعار السلع مثل البنزين والديزل والكيروسين بشكل تدريجي، بهدف إلغاء الدعم بالكامل في مرحلة لاحقة (المرجع نفسه). ونتيجة لذلك، انخفض الإنفاق الحكومي على الدعم من 14٪ من الناتج المحلي الإجمالي في عام 2008 إلى 7.2٪ في عام 2013. ومع ذلك، أدت الزيادة التدريجية في أسعار الوقود إلى احتجاجات عنيفة دفعت الحكومة إلى التراجع جزئياً عن الإصلاحات (Atamanov, 2017). ومع ذلك، فإن الدعم يفيد الأغنياء بشكل أساسي ويخلق حوافز للتهريب والفساد وعدم الكفاءة التي لا تزال تؤثر بشكل كبير على الوضع المالي للدولة. على الرغم من إنشاء صندوق الرعاية الاجتماعية (SWF) في عام 1996 لدعم الفئات الأشد فقرا وضعفا في اليمن، إلا أن صندوق الرعاية الاجتماعية عوض تأثير إصلاح الدعم بطريقة محدودة فقط (المرجع نفسه). وبحسب الخبراء، رفعت المحافظات الشمالية الخاضعة لسيطرة الحوثيين دعم الكهرباء مؤخراً، فيما لا تزال أسعار الكهرباء في المحافظات الخاضعة لسيطرة الحكومة اليمنية مدعومة بشكل كبير.

باختصار، لطالما شكلت أسعار الطاقة المدعومة من الدولة عبئاً على الاستدامة المالية للدولة اليمنية. فشلت إصلاحات الدعم التي بدأت قبل الحرب في تحقيق الهدف المنشود وهو سد الفجوة بين أسعار الوقود المحلية والدولية (Atamanov, 2017). هذه الإعانات للوقود الأحفوري هي أيضا عقبة أمام التحول الفعال للطاقة. وبالتالي، تم تأكيد التقييم القائل بأن اليمن في مرحلة ما قبل الانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة.

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون

في عام 2018، انبعث ما مجموعه 7 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون في اليمن، وهو أقل بنسبة 63 ٪ من الكمية في عام 2005، وأقل بنسبة 71 ٪ من الكمية في عام 2014، العام الذي سبق بدء الصراع العسكري. كان هذا الانخفاض مدفوعاً بالركود الناجم عن الحرب في توليد الطاقة من الوقود الأحفوري، وتعطل الأنشطة الاقتصادية، وانخفاض النقل بسبب نقص الوقود. يهيمن قطاع الطاقة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المستندة إلى الطاقة، وانبعاثات غازات الدفيئة بشكل عام. كانت غالبية الانبعاثات ناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري لتوليد الكهرباء والنقل، في حين ساهم قطاعا الصناعة والسكن ما بين 30-40٪ من إجمالي الانبعاثات (الشكل 4-11). ضمن إنتاج الكهرباء والحرارة، ساهمت موارد النفط مثل الديزل وزيت الوقود الثقيل و LFO(مثل الكيروسين)، بأكثر من 90 ٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، بينما كان الباقي ناتجاً عن الغاز الطبيعي. يوضح الشكل 4-12 الانبعاثات الناتجة من توليد الحرارة والكهرباء حسب المصدر لعام 2018.

الشكل 4-12
انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من توليد الكهرباء والحرارة حسب مصدر الطاقة (مليون طن ثاني أكسيد الكربون) اليمن 2018



المصدر: بيانات تستند إلى الوكالة الدولية للطاقة (2020 ا))

على الرغم من أن مساهمة البلاد في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمية ضئيلة للغاية، إلا أن اليمن معرض بشدة للتأثيرات المرتبطة بتغير المناخ (الجمهورية اليمنية ، 2015). في المساهمات المقررة المحددة وطنياً (INDCs)، التي تمت صياغتها في عام 2015 ولم يتم تحويلها بعد إلى مساهمات محددة وطنياً (NDCs) ، تعتزم اليمن خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بنسبة 14٪ مقارنة بسيناريو العمل المعتاد. بحلول عام 2030 (المرجع نفسه). وهذا يمثل إجمالي التخفيض التقديري التراكمي لانبعاثات غازات الاحتباس بحوالي 35 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون من عام 2020 حتى عام 2030. والهدف غير المشروط بدون دعم دولي هو 1٪.

باختصار، تهدف المساهمات المحددة على المستوى الوطني في اليمن إلى تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بحلول عام 2030، والانبعاثات في الواقع آخذة في التناقص. ومع ذلك، يُعزى هذا الانخفاض إلى الظروف السياسية وليس إلى استراتيجيات السياسات أو القياسات التي تفتقر إلى حد كبير. بالنظر إلى أن قطاع الطاقة مسؤول عن أكبر حصة من الانبعاثات، يجب توجيه جهود إعادة الإعمار نحو الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. في هذا الصدد يمكن لمصادر الوعي بالمخاطر أن تساهم بشكل كبير في تحقيق هدف المساهمات المحددة على المستوى الوطني.

الكفاءة

تمتلك اليمن بالفعل استراتيجيات لكفاءة الطاقة مع تدابير وخطط ملموسة، لكنها تقتصر إلى حد كبير على قطاع الطاقة. في المساهمات المحددة على المستوى الوطني، تسعى اليمن إلى زيادة كفاءة الطاقة في قطاع الطاقة بنسبة 15٪ حتى عام 2025 (الجمهورية اليمنية ، 2015). تم التخطيط لتدابير الكفاءة لمعالجة توليد الطاقة ونقلها وتوزيعها. يتم التركيز بشكل كبير على استخدام الغاز الطبيعي في قطاع الطاقة. من المخطط أن تكون قدرات التوليد المركبة الجديدة توربينات غازية ذات دورة مشتركة فعالة (CCGTs) لتزويد الطاقة المركزية، بينما يهدف مصدر الطاقة اللامركزي إلى تضمين أنظمة توليد الحرارة والطاقة (CHP) التي تسجل كفاءات تزيد عن 80٪ (المرجع نفسه). كما تم تشجيع استخدام مصادر الطاقة المتجددة لتوليد الطاقة وللأغراض الصناعية والزراعية. على سبيل المثال، تمت الموافقة على الاستخدام الواسع النطاق لسخانات المياه بالطاقة الشمسية. علاوة على ذلك، تتوقع المساهمات المحددة على المستوى الوطني تحسين كفاءة استخدام الطاقة في قطاع النقل. ومع ذلك لم يتم وضع أهداف محددة.

كما اتخذت وزارة الكهرباء في صنعاء إجراءات مهمة لتحسين كفاءة الطاقة. على سبيل المثال، أقر قانوناً في عام 2019 يطالب المرافق الحكومية والشوارع باستخدام مصابيح الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED) وأنظمة الإضاءة الشمسية.

على المستوى المنزلي، مع زيادة تعرفة الكهرباء عمد الكثير من الناس إلى ترشيد استهلاكهم للكهرباء. تماشياً مع هذا التطور، تم زيادة الوعي بالأجهزة المنزلية الكهربائية الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة بين الناس.

يُظهر تقييم الخطوات التي اتخذتها اليمن في مجال كفاءة الطاقة أن هذه القضية تُفهم عموماً على أنها جزء مهم من إدارة قطاع الطاقة. وفقاً لذلك وضع اليمن أهدافاً أولية لكفاءة الطاقة قبل الحرب، ولكن دون تحديدها أو تحديد جدول زمني محدد. علاوة على ذلك، حالت الحرب دون تنفيذ الأهداف. على مستوى الأسرة، يبرر الناس بشكل أساسي استخدامهم للكهرباء لأغراض توفير المال وليس لأسباب صديقة للبيئة. بناءً على هذه المعلومات، فإن كفاءة الطاقة في اليمن غير متطورة، مما يعزز تصنيف الدولة في مرحلة ما قبل نموذج انتقال الطاقة.

المجتمع

يعاني سكان اليمن بشكل كبير من نقص الطاقة وارتفاع تكاليفها، مما يساهم في الأزمة الإنسانية المستمرة في البلاد. بسبب نقص الطاقة هذا، اكتسب استخدام

مصادر الطاقة الشمسية أهمية. وبناءً عليه، فقد زاد الوعي العام بشأن الطاقة المتجددة بشكل كبير(Ajlan et al., 2016). على سبيل المثال، يتم استقبال الطاقة الشمسية عامة بشكل إيجابي من قبل الناس الذين هم على استعداد لتبني هذه التكنولوجيا لاستخدامهم السكني. لقد أصبح الناس على دراية بمصطلحات مثل واط، وات ساعة ، LED، وكفاءة الطاقة، حيث رأوا أنهم تحولوا إلى أجهزة أقل استهلاكاً للطاقة لتوفير الطاقة والتكاليف. بينما يتم توصيل المعرفة حول الطاقة المتجددة والطاقة الشمسية في المناطق الحضرية بشكل أساسي من خلال التعليم، غالباً ما يصبح الناس في المناطق الريفية على دراية بالموضوع من خلال الملاحظة الشخصية والخبرة (Baharoon et al., 2016). بالإضافة إلى ذلك، من غير المرجح أن يعرف الناس في المناطق الحضرية عن التقنيات المتجددة الأخرى، مثل الطاقة الشمسية المركزة أو طاقة الرياح، بينما تكون المعرفة في المناطق الريفية حول السخانات الشمسية والأنظمة الشمسية محدودة في كثير من الأحيان. لذلك يقترح العديد من المؤلفين زيادة المعرفة من خلال التعليم المستهدف والتدريب المحدد وحملات التوعية، على مستوى الأسرة وبين المؤسسات المالية والوكالات الحكومية. وهذا بدوره سيدعم تنفيذ مصادر الطاقة المتجددة (Ajlan et al., 2016).

ومع ذلك فإن معايير الجودة المنخفضة لأنظمة الطاقة الشمسية التي تم بيعها في اليمن تشكل عائقاً كبيراً أمام زيادة استخدام الطاقة الشمسية (Ansari et al., 2019). علاوة على ذلك، هناك نقص في الموظفين المؤهلين، حيث لا يكاد يتم تقديم أي دورات تدريبية لإعداد الفنيين والمهندسين. نتيجة لذلك غالباً ما يتحمل الموظفون غير المتخصصين أو غير المحترفين مسؤولية تخطيط وتركيب وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية. تسجل معظم الأنظمة الشمسية انخفاضاً في الأداء بعد شهرين، أو يحدث أن تكون الأنظمة أصغر حجماً، وهذا بدوره يحد من أداء النظام بأكمله (المرجع نفسه). أدى الحجم غير الصحيح للأنظمة الشمسية والجودة المنخفضة للمكونات الشمسية إلى عدم رضا الأسر عن الطاقة الشمسية. لقد أضر هذا بسمعة هذه التكنولوجيا (المرجع نفسه).

هناك عامل آخر يؤدي أيضاً إلى عدم الثقة تجاه التقنيات المتجددة وهو المستوى المرتفع للفساد (Ansari et al., 2019 2019). وشبكة المحسوبية التي تضم جهات حكومية والتي تشجع الاحتكار، الأمر الذي يرفع الأسعار المحلية. في قطاع الطاقة الشمسية، تسبب هذا الهيكل في زيادة أسعار الجملة وحدث اختناقات في الاستيراد (المرجع نفسه). وفقاً لأنصاري وآخرون (2019)، يمكن أن تتجاوز هوامش ربح الطاقة الشمسية 300٪. علاوة على ذلك، إن الرشوة منتشرة على نطاق واسع، ويتم إصدار التصاريح والرسوم في بعض الأحيان بشكل تعسفي من قبل السلطات المحلية.

بشكل عام لا يوجد في اليمن مؤسسات قائمة لرفع مستوى الوعي حول الطاقة المتجددة. تتشكل المعرفة العامة بشكل أساسي من خلال تجارب الناس الخاصة مع الطاقة الشمسية. تزيد الرشوة والفساد من التكاليف على الأسر وتعيق انتشار الطاقة المتجددة بشكل أسرع. نظراً لنقص مؤسسات التدريب المتخصصة، غالباً ما يتمتع الموظفون في قطاع الطاقة الشمسية بمهارات محدودة تؤثر على أداء القطاع وثقة الناس في التكنولوجيا. وهذا يدعم تصنيف اليمن في مرحلة ما قبل المرحلة لانتقال الطاقة وفقاً لنموذج المرحلة المطبق.

.

خلاصة التطورات على مستوى النظام والمشهد العام

باختصار، يواجه قطاع الطاقة اليمني العديد من التحديات الرئيسية. على مستوى المشهد العام، يؤثر عدم الاستقرار السياسي والنزاع المسلح على نظام الطاقة بأكمله، على الأقل في المدى القصير. من المرجح أن تؤثر على تنمية الطاقة في البلاد على المدى الطويل أيضاً. قبل الحرب كان هناك نقص في السياسات والأطر القانونية في شكل قوانين ولوائح لنشر مصادر الطاقة المتجددة. هذه أيضاً لم تتطور في السنوات التي أعقبت الحرب. بسبب الوضع الاقتصادي المزرى، لا يكاد يوجد أي تمويل متاح للطاقة المتجددة في اليمن. حتى قبل الحرب وضع دعم الطاقة عبئاً ثقيلاً على الميزانية الوطنية حيث لم يكن هناك مجال كبير لترويج الطاقة المتجددة.

على مستوى النظام، يمثل الاعتماد الكبير على الديزل عبئاً كبيراً على الأسر بسبب الإمداد غير المنظم والتكاليف والآثار على الصحة والبيئة. تشمل العقبات التقنية التي تعترض تطوير قطاع الطاقة الخسائر العالية في الكهرباء بسبب البنية التحتية القديمة وغير الفعالة، وشبكات النقل والتوزيع التي دمرتها الهجمات العنيفة.
تشكل العمالة غير المحترفة والصعوبات في تحصيل فواتير الكهرباء تحديات أخرى. تم تصميم العديد من الأنظمة وتركيبها بواسطة موظفين غير مؤهلين، مما قد يؤدي إلى ضعف الأداء وقصر عمر هذه الأنظمة. نتيجة لذلك تكتسب الطاقة الشمسية سمعة سيئة ويفقد الناس الثقة في التكنولوجيا. ومع ذلك فإن المستوى الحالي للقبول العام للطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية والتدفئة الشمسية مرتفع للغاية. ساعدت هذه التقنيات الناس على تلبية الطلب على الكهرباء والمياه الساخنة، بعد تدهور إمدادات الطاقة العامة منذ بداية الحرب في عام 2015. وبناءً على ذلك، توجد معظم استخدامات الطاقة الشمسية في المنازل أو الشركات الصغيرة ويتم بيعها وتركيبها بواسطة القطاع الخاص. لذلك تقدم اليمن حالة استثنائية للغاية من "التكيف المدفوع بالمقياس الصغير (Al-Saidi, 2020b) في الشرق الأوسط، حيث يتم تنظيم تطوير الطاقة في الغالب بطريقة مركزية للغاية.

لم يكن لوباء كوفيد 19 تأثير كبير على الطلب والعرض الحاليين على الطاقة في اليمن، حيث لم يكن هناك إغلاق خطير في البلاد. ومع ذلك وفقاً للخبراء، كان الوباء السبب الرئيسي للعديد من التأخيرات في مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق التي خططت لها وزارة الكهرباء في عدن.

باختصار، تحول الطاقة في اليمن تعوقه عواقب الحرب، ولكن أيضاً البيئة التي كانت موجودة بالفعل قبل الحرب. أدت هذه العوامل إلى نقص الإمدادات مما أدى إلى تفاقم الأزمة الإنسانية. كما تسببت في اختناقات في التوسع في إنتاج الطاقة المتجددة.

يلخص الجدول 4-2 الاتجاهات والأهداف الحالية لتحول الطاقة وفقاً للمؤشرات ذات الصلة باليمن.

الجدول 2-4
الاتجاهات والأهداف الحالية لتحول الطاقة

بند	مؤشر	2005	2010	2015	2018	2020	2030	2050
انبعاثات الكربون (مقارنة بعام 1990)	انبعاثات ثاني أكسيدالكربون 2 لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي	+150%	+136%	+97%	غير متوفر	غير متوفر	–	–
	انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد الواحد	+80%	+100%	–20%	–40%	غير متوفر		
طاقة متجددة	القدرة المركبة والمخطط لها (MW)	غير متوفر	1	290	1,090	1,650		–
	المشاركة في الاستخدام النهائي للطاقة	0.9%	1%	2.4%	غير متوفر	غير متوفر		–
	حصة في مزيج الكهرباء (الحالية والمخطط لها)	0%	0.02%	1.75%	12.7%	غير متوفر		–
كفاءة	إجمالي إمدادات الطاقة الأولية (TPES) (مقارنة بعام 1990)	+162.5%	+211.2%	+52.6%	+31.5%	غير متوفر	–	–
	كثافة الطاقة في الطاقة الأولية (مقارنة بعام 1990)	+22.9%	+22%	–21%	غير متوفر	غير متوفر	–	–
	إجمالي إمدادات الطاقة (TES) للفرد الواحد (مقارنة بعام 1990)	+50%	+50%	–50%	–50%	غير متوفر	–	–
	استهلاك الفرد من الكهرباء (مقارنة بعام 1990)	+100%	+200%	+100%	+0%	غير متوفر	–	–
	دعم الوقود الأحفوري (حصة من الناتج المحلي الإجمالي)	غير متوفر	7.15%(2013)	0.7%	غير متوفر	غير متوفر		
مباني	الاستهلاك النهائي للكهرباء السكنية (مقارنة بعام 1990)	+120.5%	+269.2%	+80.8%	+94.9%	غير متوفر	–	–
النقل (مقارنة بعام 1990)	إجمالي الاستهلاك النهائي للطاقة (مقارنة بعام 1990)	+36.5%	+73.4%	–25.5%	–36.4%	غير متوفر	–	–
	انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل (مقارنة بعام 1990)	+50%	+75%	–25%	–25%	غير متوفر	–	–
صناعة	كثافة استهلاك الصناعة للكربون (مقارنة بعام 1995)	–1.8%	+3.6%	+5.8%	+6.6%	غير متوفر	–	–
	القيمة المضافة (حصة من الناتج المحلي الإجمالي)	49%	43.8%	36.4%	35.6%	40.6%(2019)	–	–
أمن الإمدادات	صادرات الغاز الطبيعي المسال (مقارنة بعام 2009)	غير متوفر	+1,275%	+375%	غير متوفر	غير متوفر	–	–
	واردات المنتجات النفطية (مقارنة بعام 1990)	–80.2%	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	–	–
	صادرات النفط الخام (مقارنة بعام 1990)	+114.2%	+72.3%	+6.6%	–94.8%	غير متوفر	–	–
	الحصول على الكهرباء حسب نسبة السكان	56%	73.7%	71%	62%	غير متوفر	–	–
	احتياطيات النفط (مقارنة بعام 1999)	+45%	+50%	+50%	+50%	+50%	–	–
	احتياطيات الغاز (مقارنة بعام 1999)	+50%	+50%	+50%	+50%	+50%	–	–
الاستثمارات	استثمارات إزالة الكربون (مليون دولار أمريكي)	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	0.0062(2017)	غير متوفر	–	–
الاقتصاد الاجتماعي	عدد السكان				29,161,922(2019)	–	–	
	النمو السكاني	2.8%	2.8%	2.6%	2.4%	2.3%(2019)	–	–
	معدل التحضر	28.9%	31.8%	34.8%	36% (2017)	غير متوفر	–	–
	نمو الناتج المحلي الإجمالي	5.6%	7.7%	–27.9%	0.7%	2.1% (2019)	–	–
	الريع النفطي (قيمة الناتج المحلي الإجمالي)	43%	22%	2%	2.6%	غير متوفر	–	–
الماء	مستوى الإجهاد المائي	169.8%	169.8%	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	–	–

المصدر: بناءً على بيانات من BP(2020) ؛ الفاو (2020) ؛ الوكالة الدولية للطاقة (2020 أ) ؛ إيرينا (2020 أ) ؛ إيرينا (2020 ب) ؛ ستاتيستا (2020) ؛ البنك الدولي (2020 أ)

4.1.2 تقييم الاتجاهات والتطورات على المستوى المتخصص

تعتبر التطورات على المستوى المتخصص خلال كل مرحلة حاسمة للوصول إلى المراحل اللاحقة من انتقال الطاقة (انظر الجدول 3-1). ومع ذلك يُظهر اليمن تقدماً محدوداً للغاية في جميع الأبعاد ذات الصلة تقريباً: العرض والطلب والبنية التحتية، والأسواق والاقتصاد والمجتمع.

- **الطاقة المتجددة**

قبل الصراع العسكري، خططت الحكومة لتركيب مشاريع الطاقة المتجددة واسعة النطاق المتصلة بالشبكة، بما في ذلك محطات الطاقة الشمسية الحرارية، والطاقة الشمسية، والطاقة الحرارية الأرضية، وطاقة الرياح. كان الهدف هو أن تصل حصة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج توليد الكهرباء إلى 15٪ أو 2600 جيجاواط ساعة بحلول عام 2025. بمعنى آخر، اشتملت الخطة على محطة طاقة 6 ميجاواط باستخدام غاز المكبات، وهي مزرعة رياح واسعة النطاق في المخا في غرب اليمن والتي كان من المفترض بناؤها بين 2014-2019 (الجمهورية اليمنية، 2015)، ومحطات الطاقة الشمسية في مخطط مناقصة يعتمد على نموذج البناء والتشغيل والتحويل (وزارة الكهرباء والشرق الأوسط ، 2021). ومع ذلك حالياً، تتم مناقشة مشاريع الطاقة الشمسية بشكل أساسي، مثل:

1) محطة طاقة كهروضوئية بسعة 10 ميجاواط مع بطاريات تخزين في صعدة مخطط من قبل وزارة الكهرباء.
2) 7 محطات للطاقة الشمسية بقدرة إجمالية 96 ميجاواط مخطط لها من قبل وزارة الكهرباء في عدن: محطة الطاقة الشمسية في مدينة لحج، 30 ميجاواط؛ محطة الضالع الشمسية، 5 ميجاواط؛ محطة حضرموت الوادي الشمسية، 7 ميجاواط ؛ محطة عدن الشمسية، 10 ميجاواط ؛ محطة أبين الشمسية ، 20 ميجاواط ؛ محطة لودر / موديه الشمسية ، 15 ميجاواط ؛ ومحطة المهرة الشمسية بقدرة 10 ميجاواط.
3) 2 محطات توليد الطاقة الشمسية في حضرموت بسعة تخزين 50 ميغاواط لكل واحدة مخطط لها من قبل السلطة المحلية في المحافظة.

من المقرر إضافة مشاريع الطاقة الشمسية التي تم الإعلان عن جولات العطاءات الخاصة بها في المناطق الخاضعة لسيطرة الحكومة بين عامي 2022 و2023. ومع ذلك نظراً لعدم استقرار الوضع السياسي وجزئياً بسبب الوباء العالمي، فإن مشاريع البنية التحتية للطاقة واسعة النطاق تم تعليقها أو تأخيرها بشدة. علاوة على ذلك، يمثل نقص الموظفين المحترفين تحدياً كبيراً أمام نشر المزيد من الطاقة الشمسية ويشكل خطر الركود في هذا القطاع.

- **توسيع الشبكة**

قبل الحرب خطط اليمن لدمج شبكته الكهربائية مع العديد من الدول المجاورة. على سبيل المثال، في عام 2007 كانت هناك خطط لإنشاء شبكة ربط مشتركة من اليمن إلى المملكة العربية السعودية بسعة تتراوح بين 500 ميغاواط و1000 ميغاواط (Ansari et al., 2019). سيكون طول الرابط الكهربائي 416 كم، ويتألف من خط تيار متناوب مزدوج الدائرة (AC) بقدرة 400 كيلو فولت ومحطة محول تيار متردد / تيار مباشر (DC) من أجل تحويل النظام الكهربائي في المملكة العربية السعودية 60 هرتز إلى النظام الكهربائي 50 هرتز في اليمن. على الرغم من أن المؤسسة قد وضعت خططاً استثمارية للربط البيني، إلا أن التمويل لهذه المشاريع كان ناقصاً ولم يتم تحقيق أي منها حتى الآن (المرجع نفسه).

تم تطوير خطة أخرى تضمنت إنشاء وصلة تيار كهربائي عالي الجهد المباشر (HVDC) من إثيوبيا عبر جيبوتي إلى اليمن (Sufian, 2019). والهدف من ذلك هو حصول اليمن على الطاقة الكهربائية من محطة للطاقة الكهرومائية في جنوب إثيوبيا، والتي لا تزال قيد الإنشاء.

- **المركبات الكهربائية**

كما هو مذكور في القسم 4.1.1، أدخلت الحكومة في صنعاء قانون الإعفاءات الجمركية (مايو 2020) الذي يتم تطبيقه على جميع المكونات والمنتجات المتعلقة بالطاقة المتجددة، بما في ذلك المركبات الكهربائية. يوفر هذا فرصة للتجار لاستيراد المركبات الكهربائية إلى السوق اليمني بتكاليف منخفضة. إضافة إلى ذلك فإن الندرة المستمرة للبنزين وارتفاع أسعاره تدفع الناس إلى البحث عن وسائل نقل بديلة لا تعتمد على الوقود الأحفوري مثل البنزين والديزل والغاز. ومع ذلك لا توجد بعد البنية التحتية لشحن المركبات الكهربائية، وإمدادات الكهرباء لا يمكن الاعتماد عليها. يشحن مستخدمو المركبات الكهربائية القلائل سياراتهم في منازلهم إما باستخدام أنظمة الطاقة الشمسية أو الكهرباء من مولدات الديزل.

4.1.3 الخطوات اللازمة لتحقيق المرحلة التالية

يعتبر الوقود الأحفوري وخاصة النفط، المصادر السائدة للطاقة في اليمن. إلى جانب الطاقة الشمسية اللامركزية صغيرة الحجم، لا تزال الطاقة المتجددة تلعب دوراً ثانوياً في نظام الطاقة. تفتقر اللوائح القانونية ولوائح السوق الخاصة بمصادر الطاقة المتجددة إلى حد كبير، كما أن عدم الاستقرار السياسي أعاق تنفيذ المشاريع الكبيرة الحجم. علاوة على ذلك تم تدمير البنية التحتية للشبكة أو تضررها إلى حد كبير، والشبكة المتبقية غير فعالة وعفا عليها الزمن، مما يقيد الاتصال المستقبلي لمحطات الطاقة المتجددة الكبيرة الحجم. بدون السلام وجهود إعادة الإعمار الكبرى، من المرجح أن يظل توسيع أنظمة الطاقة القائمة على الطاقة المتجددة على نطاق واسع محدوداً في السنوات القادمة. لذلك فإن الإجراءات الموصي بها تعتمد بشكل كبير على تطور الوضع السياسي في اليمن (Almohamadi, 2021). في كل الأحوال يجب معالجة تطوير قطاع الطاقة المتجددة على مستويات مختلفة، بما في ذلك مجالات القانون والإدارة والتنظيم، وصنع السياسات ،وبناء القدرات والتمويل. يتم تحديد هذه المجالات بإيجاز أدناه.

الإطار القانوني

لدعم تطوير ناجح لقطاع الطاقة المتجددة في اليمن، من المهم للغاية تحسين الأطر السياسية والقانونية. من أجل تسريع مشاريع الطاقة المتجددة واسعة النطاق، فإن الإجراءات والتشريعات الواضحة ضرورية لبناء ثقة المستثمرين، خاصة بعد سنوات من عدم الاستقرار في اليمن. يمكن أن يستخدم قانون الكهرباء لعام 2010 كأساس لإنشاء المزيد من التطورات والثبات. على المستوى الصغير، سيكون من الضروري تطوير اللوائح التي تعزز استيراد المنتجات الشمسية عالية الجودة لزيادة ثقة المستهلك في هذه الأنظمة. علاوة على ذلك هناك حاجة إلى حالات التحكم لتشكيل معايير الجودة أو الشهادات. من الناحية الفنية يجب صياغة القوانين وتنفيذها لتنظيم أكواد الشبكة المحلية ومتطلبات تركيب الأنظمة الشمسية على المباني. هذه القوانين من شأنها أيضا إدارة تدابير كفاءة الطاقة. لتحديد أنسب الخيارات لتطويرها التنظيمي، يمكن لليمن أولاً تحليل أفضل الممارسات وتبادلها مع نظراء من بلدان في المنطقة حيث تم بالفعل تنفيذ هذه التطورات.

المؤسسات والحوكمة

هناك حاجة إلى تطوير الإستراتيجية جنباً إلى جنب مع الإصلاحات الهيكلية والمؤسسية لوضع اليمن على مسار نمو مستدام بعد الحرب. ومع ذلك، بصرف النظر عن الاستراتيجية الوطنية القديمة للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة من عام 2009، لا توجد استراتيجيات أخرى في اليمن، ولم يتم وضع هذه الاستراتيجية موضع التنفيذ نتيجة للصراع العسكري المستمر. تم تطوير الرؤى الإستراتيجية مثل رؤية مصطفى بهران 20/20، لكنها لم تتحقق أيضاً. وبالتالي وكخطوة أولى، يجب على اليمن تطوير استراتيجية للطاقة تهدف إلى تحقيق التنويع، والاستدامة والتنمية الاجتماعية والاقتصادية. يجب أن تحدد الإستراتيجية أهدافاً ومؤشرات كمية لقياس هذه الأهداف للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة. علاوة على ذلك يجب على اليمن صياغة خطط للشروع في إصلاح قطاع الطاقة. سيؤدي ذلك إلى فصل توليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها. من خلال إنشاء هيئة مستقلة لتنظيم الطاقة، يمكن أن يصبح القطاع أكثر قدرة على المنافسة، ويمكن تحسين بيئة الاستثمار. ستكون الخطوة التالية هي استئناف أنشطة GARE من أجل تعزيز تقديم الخدمات في المناطق الريفية (Almohamadi, 2021). يعتبر إنشاء المؤسسات والآليات المالية أمراً حاسماً أيضاً من أجل تمويل استثمارات مشاريع الطاقة الصغيرة والكبيرة الحجم. يجب تنفيذ برنامج دعم وتحفيز من الدولة لمحطات الطاقة الشمسية الصغيرة للتخفيف من آثار إصلاحات الدعم وتلبية الحاجة الملحة للكهرباء لإعادة الإعمار الاقتصادي. أخيراً، فإن تعزيز التعاون والتنسيق بين الوكالات المختلفة سيساعد في دعم تنمية قطاع الطاقة المتجددة. لتحقيق ذلك يمكن إنشاء صيغ التبادل بين المؤسسات المختلفة تحت قيادة وزارة الطاقة كإجراء أولي. من شأن هذا الإجراء أن يخلق فهماً متعدد الأوجه للتحديات والفرص التي تواجهها الطاقة المتجددة في اليمن.

قطاع الكهرباء

في قطاع الكهرباء هناك حاجة لإصلاحات الدعم لخلق بيئة عمل متكافئة للطاقة المتجددة. وهذا يتطلب أيضاً تعديل تعرفة الكهرباء لضمان تغطية تكاليف التوليد والتشغيل في المستقبل لتحقيق إمداد موثوق به للكهرباء على المدى الطويل. في ضوء الأزمة الإنسانية في اليمن، يجب إدارة هذه الإصلاحات بعناية من أجل عدم زيادة العبء على السكان. يمكن أن تكون الخطوة الأولى لليمن هي إجراء مشاورات شاملة مع أصحاب المصلحة من أجل إنشاء هيكل تعريفة عادل ومتسق. وهذا من شأنه أن يدعم أكثر أفراد المجتمع ضعفاً، ويسمح أيضاً بالتنمية الاقتصادية.

البنية التحتية

يعد تحسين وتوسيع سعة الشبكة أمراً أساسياً لدمج مصادر الطاقة المتجددة وضمان إمدادات طاقة موثوقة على المدى الطويل. لذلك يجب تصميم إعادة الإعمار بعد الحرب بشكل مباشر بحيث يمكن للشبكة أن تستوعب الطاقة المتجددة في المستقبل. على سبيل المثال، يجب تحسين مستوى الجهد لضمان مصدر طاقة خالٍ من الاضطرابات، نظراً لأن الأحمال الزائدة المتكررة تؤدي إلى خسائر فنية. يمكن لليمن أيضاً أن يواصل تنفيذ مشاريع الربط البيني مع الدول المجاورة، مما قد يساعد في تلبية احتياجات البلاد من الكهرباء كمرحلة أولية. يمكن أن تُستخدم هذه المشاريع لاحقاً كخيارات ومسارات مرنة لتصدير الكهرباء. علاوة على ذلك، فإن التحليلات مطلوبة لتقييم الحاجة إلى خيارات تخزين الطاقة المتجددة وتحديد حجمها، حيث تحدث ذروة الطلب في اليمن في ساعات المساء بعد غروب الشمس. بالإضافة إلى ذلك، بدأت بالفعل لامركزية توليد الكهرباء مع استخدام الطاقة الشمسية في المنازل. ومع ذلك يجب تعزيزها بشكل أكبر، لأن هذا يمكن أن يقلل بشكل مباشر من التعرض لتقلبات أسعار الوقود الأحفوري وأقل عرضة للهجمات والأضرار مقارنة بالبنى التحتية المركزية (Al-Saidi, 2020b). يجب أيضاً إجراء البحوث حول المزيج الأمثل بين توليد الطاقة المتجددة المركزية واللامركزية، ويجب تطوير أهداف ملموسة وآليات دعم لاحقة لكلا القطاعين. بشكل عام من الضروري بناء محطات طاقة مركزية تغطي الطلب على الكهرباء في جميع أنحاء البلاد. في الوقت نفسه يجب تطوير محطات الطاقة المتجددة لتقليل اعتماد الدولة على واردات الوقود (خاصة الديزل).

بناء القدرات وأداء القطاع

يعتمد الانتقال المستدام على موظفين مؤهلين ومدربين في جميع القطاعات. لذلك يجب على وزارة الكهرباء أن تدعم إنشاء إجراءات تأهيل مؤسسية في قطاع الطاقة المتجددة تتوافق مع المعايير الدولية (Ansari et al., 2019 2019). يجب أن يشمل ذلك جميع مستويات التأهيل من التدريب المهني لخدمات التركيب والصيانة الفنية إلى برامج الهندسة التطبيقية في الجامعات. يمكن أن يكون إنشاء مراكز تدريب متخصصة للقدرات والكفاءات خطوة أولى في هذا الاتجاه (Ansari et al., 2019). بالنسبة لقطاع الطاقة الشمسية على نطاق صغير، يجب تقديم دورات تدريبية خاصة للفنيين والمهندسين تستهدف تحديد أبعاد أنظمة الطاقة الشمسية وتركيبها وصيانتها. سيدعم ذلك الفرق الفنية للاستعداد بشكل مناسب لتركيب أنظمة طاقة شمسية عالية الجودة. علاوة على ذلك فإن الإجراءات التي تعزز الحوكمة والمهارات الإدارية في النادي ستكون أساسية لتعزيز أداء القطاع. على سبيل المثال، ستكون هناك حاجة إلى موظفين تقنيين يعرفون كيفية إعداد المستندات الفنية والقانونية، أو تطبيق اللوائح، أو تطوير اتفاقيات شراء الطاقة، أو إجراء دراسات جدوى لتعلم الطاقة (المرجع نفسه). يجب البدء في برامج التبادل مع المشغلين في البلدان الأخرى التي لديها حصص أعلى من مصادر الطاقة المتجددة. علاوة على ذلك ينبغي اتخاذ تدابير مثل مراجعات الموظفين والأداء والمراجعة المالية من قبل أطراف ثالثة. يمكن أن تساعد هذه الإجراءات في تحقيق بناء القدرات.

4.2 نظرة عامة على المراحل التالية لعملية الانتقال

جعلت الحرب من الصعب للغاية على اليمن استغلال إمكاناته المتجددة بشكل مناسب. لم تواجه دول أخرى في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا مثل هذا الوضع. من التحليل يتضح أن تحول الطاقة في اليمن في السنوات الأخيرة كان مدفوعاً بشكل أساسي بالصراع. نتيجة للحرب لم يعد بإمكان الناس الوصول إلى العديد من مصادر الطاقة. لذلك لجأوا إلى استخدام الطاقة الشمسية لسد احتياجاتهم الأساسية من الكهرباء. تم تطبيق الطاقة الشمسية على نطاق واسع ليس فقط في المنازل ولكن أيضاً في القطاع الزراعي. على سبيل المثال، أصبحت مضخات المياه بالطاقة الشمسية من أبرز التقنيات على مستوى الدولة. وينطبق الشيء نفسه على المرافق الصحية والفنادق والكيانات التعليمية التي تعتمد على الطاقة الشمسية الآمنة. على الرغم من وجود إمكانات هائلة لتعلم المخاطر، إلا أن اليمن يفتقر إلى استراتيجية شاملة. حتى الآن لم يتم تنفيذ أي مشاريع تعلم الطاقة على نطاق واسع بسبب عدم الاستقرار السياسي وغياب القوانين واللوائح. ذكر الخبراء الذين تمت مقابلتهم بالإجماع أن الافتقار إلى إطار قانوني يمثل تحدياً كبيراً. وهذا يسلط الضوء على الحاجة إلى تطوير سياسات وتشريعات لتعزيز إعادة الإعمار الناجحة لقطاع الكهرباء في اليمن، بما في ذلك قطاع الطاقة المتجددة.

بينما اتفق معظم الخبراء الذين تمت مقابلتهم على الحاجة إلى دفع انتقال الطاقة نحو مصادر الطاقة المتجددة، فقد أشاروا أيضاً إلى تحديات أخرى، مثل الدور المهيمن الذي يلعبه الوقود الأحفوري وسياسات المحسوبية طويلة الأمد التي تعيق مسار انتقال الطاقة في اليمن. ومع ذلك فإن انخفاض التكلفة والتقدم في تقنيات الطاقة المتجددة يوفر فرصة ثمينة لحل المشكلة المزمنة لأزمة الكهرباء. أصبح اعتماد هذه التقنيات الخيار الأفضل والأقل تكلفة لتوليد الكهرباء وتسخين المياه مقارنة باستخدام التقنيات التقليدية. إلى جانب هذه العوامل الداخلية، أثرت الأحداث الخارجية مثل جائحة COVID-19 على التنمية المتجددة في العامين الماضيين، مما أدى إلى تأخير مشاريع الطاقة الشمسية في محافظة عدن.

من أجل التطوير المستقبلي لنظام الطاقة، يجب مراعاة الأيديولوجيات السياسية المختلفة في الشمال والجنوب. نظراً لأن أمن الطاقة واستقرار إمدادات الكهرباء من الاهتمامات الرئيسية في كل من شمال وجنوب اليمن، يحتاج صانعو السياسات إلى فهم أن مصادر الطاقة المتجددة يمكن أن تقدم فوائد لكلا الطرفين على المستوى الاقتصادي والاجتماعي. سيكون من المفيد إعادة بناء نظام إمداد طاقة متصل على مستوى الدولة بدلاً من أنظمة مجزأة في شمال وجنوب اليمن.

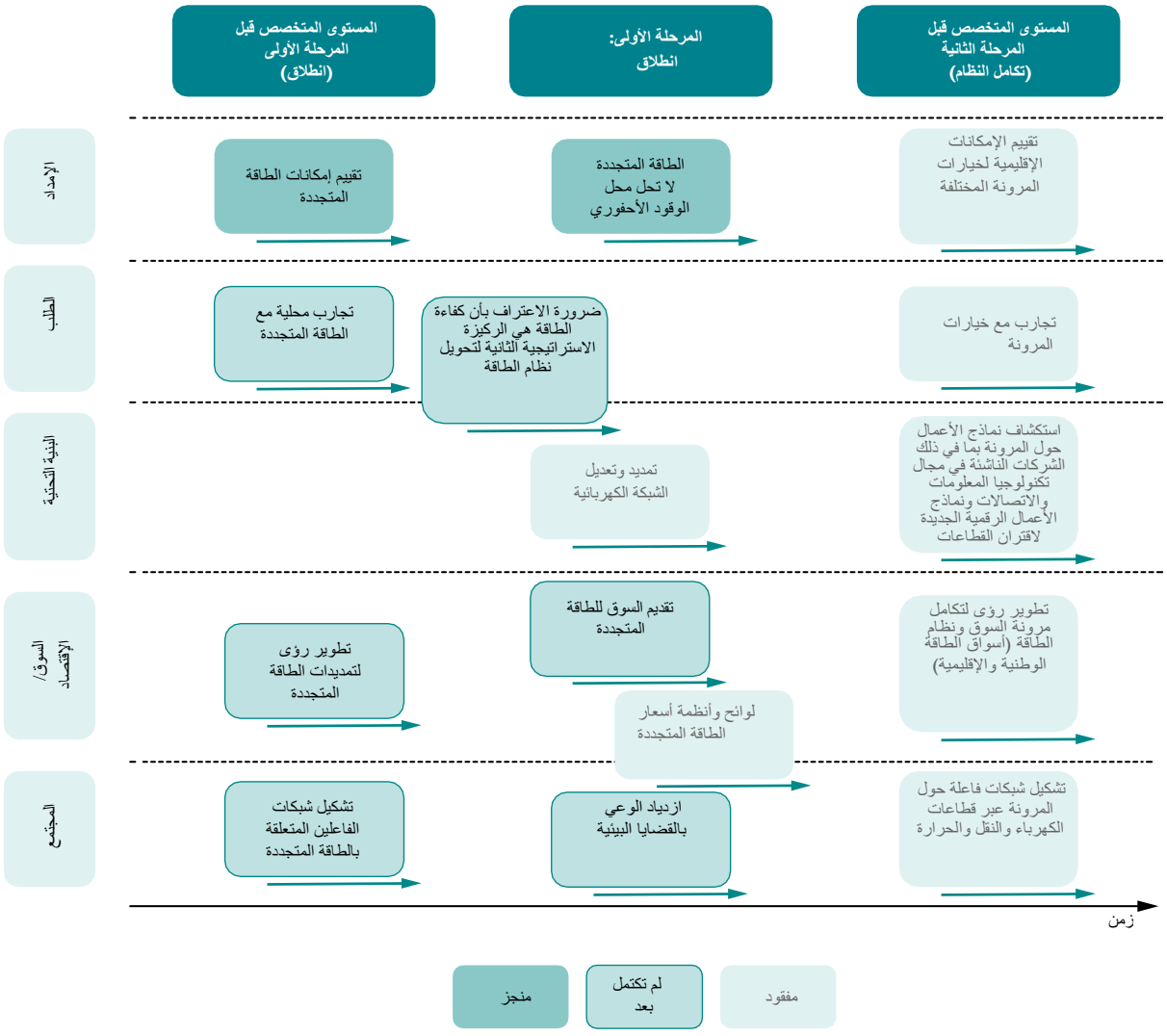
في حين أن الحاجة إلى تأمين إمدادات الطاقة الوطنية هي محرك قوي لنشر مصادر الطاقة المتجددة بشكل أكبر، فإن الغاز الطبيعي المحلي أصبح أيضاً أكثر ملاءمة لاستراتيجية الطاقة في اليمن. وفقاً للخبراء ستؤثر خطط انتقال الطاقة في البلدان التي تشتري الغاز الطبيعي من اليمن على استراتيجية الطاقة في اليمن.

بمعنى آخر، يمكن لليمن استخدام الغاز محلياً بدلاً من بيعه بأقل من قيمته السوقية بموجب العقود القائمة. ومع ذلك، نظراً للجهود العالمية لإزالة الكربون والانخفاض الناتج في الطلب على الوقود الأحفوري، سيكون من الأفضل لليمن عدم تأخير الانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة. يمكن أن يساعد هذا التحول في مجال الطاقة اليمن على تطوير قطاعات اقتصادية جديدة ويمكن أن يوفر لها فرصاً للتصدير في المستقبل.

لضمان إتاحة هذه الفرص لمجموعة واسعة من السكان، يجب أن يصبح المواطنون والمجتمعات جزءاً لا يتجزأ من عملية تخطيط الطاقة. إن التطور الحالي لتعلم المخاطر في اليمن "مدفوع من المجتمع ومنظم ذاتياً" (السعيدي 2020)، وهي نقطة انطلاق جيدة، على الرغم من أن التطور الحالي بعيد كل البعد عن أن يكون نموذجاً لأفضل حالة. بالإضافة إلى ذلك، سيكون البحث والتطوير (R & D) ضروريين لإنشاء سلاسل القيمة المحلية، ويجب دعم ذلك مالياً. قد تكون إحدى طرق تمويل أبحاث الطاقة المتجددة وأيضاً دعم وتحفيز برامجها عبر إنشاء صندوق للطاقة المتجددة يتغذى بحصة محددة من عائدات النفط والغاز.

في ظل هذه الخلفية، هناك حاجة إلى نهج مرن وطويل الأجل، والذي يأخذ في الاعتبار نظام الطاقة بأكمله والأهداف طويلة الأجل للانتقال نحو نظام الطاقة القائم على مصادر الطاقة المتجددة بالكامل. يجب أن يفهم صانعو السياسة في اليمن أن التبني المبكر لأنظمة الطاقة المتجددة يمثل فوائد متعددة ؛ على المدى القصير سيزيد من إمدادات الطاقة، بينما سيوفر على المدى الطويل فرصة للتنمية الاقتصادية. يلخص الشكل 4-13 الوضع الحالي لليمن في تحول نظام الطاقة ويقدم نظرة مستقبلية للخطوات التالية.

شكل 4-13
نظرة عامة على وضع اليمن في نموذج التحول في نظام الطاقة



5

الاستنتاجات والتوقعات

يعد الفهم الواضح والرؤية المنظمة من المتطلبات الأساسية لتعزيز وتوجيه الانتقال نحو نظام طاقة قائم على مصادر الطاقة المتجددة بالكامل. تم تكييف نموذج المرحلة لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا مع حالة اليمن من أجل توفير المعلومات التي من شأنها دعم انتقال نظام الطاقة نحو الاستدامة. تم تكييف النموذج الذي بني على السياق الألماني وتم استكماله برؤى ثاقبة في الحكم الانتقالي لالتقاط الاختلافات بين الافتراضات الأساسية العامة، وخصائص منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، والسياق اليمني المحدد.

تم تطبيق النموذج الذي يتضمن أربع مراحل وهي (« تدشين الطاقة المتجددة » و« تكامل النظام» و « طاقة إلى وقود / غاز » و « نحو 100٪ من مصادر الطاقة المتجددة») لتحليل وتحديد موقع اليمن من حيث انتقال الطاقة نحو مصادر الطاقة المتجددة. يوفر تطبيق النموذج أيضاً الأساس لتطوير خارطة طريق توضح بالتفصيل الخطوات اللازمة للمضي قدماً في هذا المسار. أظهر التحليل أن ما يسمى بـ "الثورة الشمسية" في اليمن مدفوعة بالصراع ومقتصرة على التطبيقات اللامركزية الصغيرة للطاقة الشمسية. تتمثل الدوافع التي تدفع اليمن إلى التحول إلى نظام الطاقة المستدامة في الغالب في الحاجة إلى تأمين إمدادات كهرباء موثوقة وبأسعار معقولة بالإضافة إلى فرص التكلفة والعائد في التنمية الاقتصادية طويلة الأجل. على الرغم من انخفاض تكاليف التكنولوجيا المتجددة، يبدو أن المسار الحالي نحو مصادر الطاقة المتجددة يمثل تحدياً لليمن بسبب عدم الاستقرار السياسي في البلاد، والافتقار إلى الاستراتيجيات والتشريعات واللوائح والرعاية الواسعة النطاق في الإدارة.

ومع ذلك تمثل مصادر الطاقة المتجددة منظوراً مستداماً طويل الأجل لليمن، لأنها توفر فرصة لانتقال الطاقة مع إعادة بناء نظام الطاقة بعد الحرب. لاغتنام هذه الفرصة تحتاج اليمن إلى زيادة طموحها، وتحسين الظروف الإطارية لمصادر الطاقة المتجددة، وزيادة الوعي بفوائدها. وهذا يشمل الحاجة إلى تدشين قطاع الكهرباء. وبالمثل يجب زيادة جهود كفاءة الطاقة. على وجه الخصوص يتطلب ذلك بناء القدرات والمهارات لضمان إمكانية تنفيذ الاستراتيجيات بنجاح على نطاق أوسع.

في حين أن التحول في مجال الطاقة في اليمن لا يزال في مراحله الأولى ويواجه الارتقاء بمصادر الطاقة المتجددة العديد من التحديات، يُنصح البلد جيداً بإنشاء نظام طاقة أكثر استدامة من شأنه أن يفيد سكانها على المدى القصير والطويل. النتائج على طول نموذج المرحلة الانتقالية نحو مصادر الطاقة المتجددة بنسبة 100٪ يمكن أن تحفز وتدعم النقاش حول نظام الطاقة في اليمن في المستقبل. ويتحقق ذلك من خلال توفير رؤية إرشادية شاملة لانتقال الطاقة وتطوير استراتيجيات السياسة المناسبة.

BIBLIOGRAPHY

Ajlan, A., Tan, C. W., & Abdilahi, A. M. (2016). Assessment of environmental and economic perspectives for renewable-based hybrid power system in Yemen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *75*, 559–570. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.024

Al Asbahi, A. A. M. H., Fang, Z., Chandio, Z. A., Tunio, M. K., Ahmed, J., & Abbas, M. (2020). Assessing barriers and solutions for Yemen energy crisis to adopt green and sustainable practices: A fuzzy multi-criteria analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(29), 36765–36781. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09700-5

Al-Ashwal, A. M. (2016). Energy efficiency and conservation indicators in Yemen. *Future Cities and Environment*, *2*, 3. https://doi.org/10.1186/s40984-016-0016-0

Al-Fakih, A. R., & Li, K. (2018). Study of geothermal energy resources of Yemen for electric power generation. *GRC Transactions*, *42*.

Alkholidi, A. (2013). Renewable energy solution for electrical power sector in Yemen. *International Journal of Renewable Energy Research*, *3*(4), 803-811.

Almohamadi, A. M. (2021). *Priorities for the recovery and reform of the electricity sector in Yemen*. Rethinking Yemen's Economy. https://carpo-bonn.org/wp-content/uploads/2021/05/Rethinking_Yemens_Economy_No8_En.pdf

Al-Saidi, M.; Roach, E. L.; Al-Saeedi, B. A. H. (2020a): Conflict Resil- ience of Water and Energy Supply Infrastructure: Insights from Yemen. Water 12(11)3269. doi: 10.3390/w12113269.

Al-Saidi, M. (2020b). Legacies of state-building and political fragility in conflict-ridden Yemen: Understanding civil service change and contemporary challenges. *Cogent Social Sciences*, *6*(1). https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1831767

Ansari, D. (2016). Resource curse contagion in the case of Yemen. *Resources Policy*, *49*, 444–454. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.08.001

Ansari, D., Kemfert, C., & Al-Kuhlani, H. (2019). *Yemen's solar revolution: Developments, challenges, opportunities*. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. https://www.diw.de/de/diw_01.c.683073.de/publikationen/politikberatung_kompakt/2019_0142/yemen_s_solar_revolution_developments_challenges_opportun_____evelopment_program_____the_future_of_yemen_s_energy_sector.html

Atamanov, A. (2017). Energy subsidies reform in the republic of Yemen: Estimating gains and losses. In P. Verme & A. Araar (Eds.), *The quest for subsidy reforms in the Middle East and North Africa Region: A microsimulation approach to policy making* (pp. 207–228). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52926-4_8

Baharoon, D. A., Rahman, H. A., & Fadhl, S. O. (2016). Personal and psychological factors affecting the successful development of solar en- ergy use in Yemen power sector: A case study. *Renewable and Sustaina- ble Energy Reviews*, *60*, 516–535. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.004

Bouznit, M., Pablo-Romero, M., & Sánchez-Braza, A. (2020). Meas- ures to promote renewable energy for electricity generation in Algeria. *Sustainability*, *12*(4), 1468. https://doi.org/10.3390/su12041468

BP. (2019). *BP energy outlook – 2019 edition*. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf

BP. (2020). *Statistical review of world energy 2020, 69th edition.*

Energydata. (2017a). *Datasets*. https://energydata.info/dataset

Energydata. (2017b). *Iraq—Electricity transmission network*. https://energydata.info/dataset/iraq-electricity-transmission-network-2017/resource/4a302ef4-0d79-47db-b301-7b40293067b0

FAO. (2020). *6.4.2 Water stress: Sustainable development goals*. http://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/642/en/

Fischedick, M., Holtz, G., Fink, T., Amroune, S., & Wehinger, F. (2020). A phase model for the low-carbon transformation of energy systems in the MENA region. *Energy Transitions*, *4*, 127-139. https://doi.org/10.1007/s41825-020-00027-w

Fischedick, M., Samadi, S., Hoffmann, C., Henning, H.-M., Pregger, T., Leprich, U., & Schmidt, M. (2014). *Phasen der Energisystemtransfor- mation* (FVEE - Themen). FVEE. https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2014/th2014_03_01.pdf

Geels, F. W. (2012). A socio-technical analysis of low-carbon transitions: Introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of Transport Geography*, *24*, 471–482. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.021

Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, *36*(3), 399–417. https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003

Hadwan, M., & Alkholidi, A. (2016). Solar power energy solutions for Yemeni rural villages and desert communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *57*, 838–849. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.125

Henning, H.-M., Palzer, A., Pape, C., Borggrefe, F., Jachmann, H., & Fischedick, M. (2015). Phasen der Transformation des Energiesystems. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, *65*(1/2), 10–13.

Holtz, G., Fink, T., Amroune, S., & Fischedick, M. (2018). *Develop- ment of a phase model for categorizing and supporting the sustainable transformation of energy systems in the MENA region*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

IEA. (2013, July 3). *National strategy for renewable energy and energy efficiency*. https://www.iea.org/policies/5253-national-strategy-for-renewable-energy-and-energy-efficiency

IEA. (2020a). *Data and statistics*. https://www.iea.org/countries

IEA. (2020b). *Data and statistics*. https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy

IRENA. (2020a). *Data and statistics*. https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Finance-and-Investment/Renewable-Energy-Finance-Flows

IRENA. (2020b). *Renewable capacity statistics 2020.*

MoEE. (2021). *Yemen announces tenders for supply, installation, testing, commissioning, operating & maintenance solar power plant on (BOOT) build-own-operate-transfer model*. https://moee-ye.com/site-ar/897/

Mubaarak, S., Zhang, D., Liu, J., Chen, Y., Wang, L., Zaki, S. A., Yuan, R., Wu, J., Zhang, Y., & Li, M. (2020). Potential techno-economic feasibility of hybrid energy systems for electrifying various consumers in Yemen. *Sustainability*, *13*(1), 228. https://doi.org/10.3390/su13010228

PEC (2021): Data.

Qasem, A. S. (2018). Applications of renewable energy in Yemen. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, *8*(1). https://doi.org/10.4172/2090–4541.1000254

Rawea, A. S., & Urooj, S. (2018). Strategies, current status, problems of energy and perspectives of Yemen's renewable energy solutions. *Renew- able and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 1655–1663. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.015

Republic of Yemen. (2015). *Intended nationally determined contribution (INDC) under the UNFCCC*. https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Yemen/1/Yemen%20INDC%2021%20Nov.%202015.pdf

Statista. (2020, December 14). *OPEC global crude oil exports by country 2019*. https://www.statista.com/statistics/264199/global-oil-exports-of- opec-countries/

Sufian, T. (2019). *Post conflict reconstruction strategy study for the elec- tricity and energy sector of Yemen*. International Energy Charter. https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/ 2019-Yemen_paper_final.pdf

UNICEF. (2021). *Yemen crisis*. https://www.unicef.org/emergencies/yemen-crisis

Weber, K. M., & Rohracher, H. (2012). Legitimizing research, technol- ogy and innovation policies for transformative change: Combining in- sights from innovation systems and multi-level perspective in a compre- hensive »failures« framework. *Research Policy*, *41*(6), 1037–1047. https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.10.015

The World Bank. (2009). *Project information document (PID) appraisal stage*. https://documents1.worldbank.org/curated/en/840631468340 298535/pdf/Project0Inform1nt010Appraisal0Stage.pdf

The World Bank. (2013). *Middle East and North Africa - Integration of electricity networks in the Arab World: Regional market structure and design* (Report No: ACS7124). http://documents.worldbank.org/curated/en/415281468059650302/pdf/ACS71240ESW0WH0l0and0ll000 Final0PDF.pdf

The World Bank. (2019). *Electric power transmission and distribution losses (% of output)*. https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS

The World Bank. (2020a). *Data*. https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KD.GD?locations=IQ

The World Bank. (2020b). *World bank open data*. https://data.worldbank.org/indicator/sp.pop.grow?view=map

قائمة الاختصارات

AC	التيار المتردد
BOOT	بناء - تملك - تشغيل - نقل
CCGT	توربينات الغاز ذات الدورة المركبة
CCS	احتجاز الكربون وتخزينه
CCU	التقاط الكربون واستخدامه
CHP	الجمع بين الحرارة والقوة
CNG	الغاز الطبيعي المضغوط
COVID -19	مرض فيروس كورونا 2019
CSP	الطاقة الشمسية المركزة
DC	التيار المباشر
DSM	إدارة جانب الطلب
ERRY	تعزيز الصمود الريفي في اليمن
EU	الاتحاد الأوروبي
EV	مركبة كهربائية
FAO	منظمة الأغذية والزراعة
FiT	تعريفة التغذية
GARE	الهيئة العامة لكهرباء الريف
GCOGMR	المؤسسة العامة للنفط والغاز والثروة المعدنية
GDP	إجمالي الناتج المحلي
GHG	غازات الاحتباس الحراري
HFO	زيت الوقود الثقيل
HVDC	تيار مباشر عالي الجهد
IBT	زيادة تعريفة الكتلة
ICT	تكنولوجيا المعلومات والاتصالات
IEA	وكالة الطاقة الدولية
IEC	اللجنة الكهروتقنية الدولية
IMF	صندوق النقد الدولي
INDC	المساهمة المحددة وطنيا
IPP	منتج طاقة مستقل
IRENA	الوكالة الدولية للطاقة المتجددة
LED	الصمام الثنائي الباعث للضوء
LFO	زيت الوقود الخفيف
LNG	الغاز الطبيعي المسال
LPG	غاز البترول المسال
MENA	الشرق الأوسط وشمال أفريقيا
MLP	منظور متعدد المستويات
MoEE	وزارة الكهرباء والطاقة
MOM	وزارة النفط والثروة المعدنية
MoU	مذكرة تفاهم
NDC	مساهمة محددة وطنيا
PEC	المؤسسة العامة للكهرباء
PEPA	هيئة التنقيب عن البترول وإنتاجه
PPA	اتفاقية شراء الطاقة
PtF	الطاقة إلى وقود
PtG	الطاقة إلى غاز
PtX	الطاقة إلى X
PV	الشمسية
R&D	البحث والتطوير
RE	طاقة متجددة
REPS	بيان سياسة كهربة الريف
SHS	أنظمة الطاقة الشمسية المنزلية
SWF	صندوق الرعاية الاجتماعية
USD	الدولار الأمريكي
YGC	شركة الغاز اليمني
YLNGC	الشركة اليمنية للغاز الطبيعي المسال
YOC	شركة النفط اليمنية
YOPDC	شركة توزيع المنتجات النفطية اليمنية
YRC	الشركة اليمنية للتكرير

قائمة الوحدات والرموز

٪	نسبة مئوية
CO_2	ثاني أكسيد الكربون
GW	جيجاواط
GWh	جيجاواط ساعة
Hz	هيرتز
kgoe	كيلوغرام من النفط المكافئ
ktoe	كيلوطون من النفط المكافئ
KV	كيلو فولت
KW	كيلووات
KWh	كيلووات ساعة
م 3	متر مكعب
m/s	متر في الثانية
Mt	ميجاطن
Mtoe	ملايين الأطنان من النفط المكافئ
MVA	ميجافولت أمبير
MW	ميجاواط

قائمة الجداول

الجدول 3-1 التطورات خلال المراحل الانتقالية .....9..

الجدول 4-1 أهداف الإستراتيجية الوطنيةللطاقة المتجددة 20

الجدول 4-2 الاتجاهات والأهداف الحالية لانتقال الطاقة 29

قائمة الأشكال

الشكل 2 – 1 المنظور متعدد المستويات .....5...

الشكل 2 – 2 نموذج المرحلة الانتقالية لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا 5

الشكل 4 – 1 إجمالي استهلاك الطاقة النهائي (كيلوطن) ، اليمن1990- 2018 13

الشكل 4 – 2 إجمالي إمدادات الطاقة (بالكوتا) ، اليمن1990- 2018 13

الشكل 4 – 3 استهلاك الكهرباء (تيراواط ساعة) ،اليمن1990- 2019.....15

الشكل 4 – 4 توليد الكهرباء حسب المصدر (تيراوات ساعة) ،اليمن 1990-2019.....15

الشكل 4 – 5 وحدات الطاقة الشمسية المركبة .....17.

الشكل 4 – 6 توليد الكهرباء من المصادر التقليدية حتى عام2013 (بيانات إحصائية) وتقديرات توليد الطاقة الشمسية بعد عام2015 (جيجاوات ساعة).....17

الشكل 4 – 7 تطوير توليد الكهرباء المتجددة حسب المصدر (بالجيغاواط ساعة) والتعريف بسياسة اجراءات الطاقة. اليمن 1990-2018..... 21

الشكل 4 – 8 صافي واردات الطاقة (Mtoe)، اليمن 1990-2018.....21

الشكل 4 – 9 شبكة نقل الكهرباء اليمنية توضح مناطق إجمالي الطاقة الكهربائية المولدةوالوقود المستهلك .....23.

الشكل 4 – 10 هيكل سوق الكهرباء والسلطات والشركات ذات الصلة 24

الشكل 4 – 11 انبعاثات ثاني أكسيد الكربون حسب القطاع (مليون طن من ثاني أكسيد الكربون) ،اليمن 2005-2018 .....25..

الشكل 4 – 12 انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن توليد الكهرباء والحرارة حسب مصدر الطاقة (في مليون طن من ثاني أكسيد الكربون) ، اليمن2018 26

الشكل 4 – 13 نظرة عامة على وضع اليمن في النموذج الانتقالي لنظام الطاقة.....32

مؤسسة فريدريش إيبرت | مكتب اليمن
ص.ب. 4553 | صنعاء

https://:de.fes.yemen

لطلب المنشورات:
info@fesyemen.org

لا يسمح بالاستخدام التجاري لجميع الوسائط التي تنشرها مؤسسة فريدريش إيبرت (FES) دون موافقة خطية من مؤسسة فريدريش إيبرت.

حول هذه الدراسة

أجريت هذه الدراسة كجزء من مشروع إقليمي يطبق نموذج مرحلة انتقال الطاقة لمعهد فوبرتال الألماني على بلدان مختلفة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. ويساهم المشروع، الذي ينسقه المشروع الإقليمي للمناخ والطاقة في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا التابع لمؤسسة فريدريش إيبرت ومقره الأردن، في فهم أفضل للمكان الذي تتم فيه عمليات انتقال الطاقة في كل من البلدان المتواجدة بها. كما يقدم الدروس المستفادة الرئيسية للمنطقة بأسرها استنادا إلى النتائج التي تم التوصل إليها في جميع أنحاء البلدان التي تم تحليلها. ويتماشى ذلك مع استراتيجيات مؤسسة فريدريش إيبرت التي تجمع بين ممثلي الحكومات ومنظمات المجتمع المدني إلى جانب دعم البحوث، مع تقديم توصيات بشأن السياسات لتعزيز وتحقيق عدالة اجتماعية لانتقال الطاقة وعدالة مناخية للجميع.

نبذة عن المؤلفين

تعمل سيبيل راكيل إرسوي (Sc.M) كباحثة مبتدئة في وحدة الأبحاث «تحولات الطاقة الدولية» في معهد فوبرتال منذ عام 2019. تتمثل اهتماماتها البحثية الرئيسية في مسارات الانتقال نحو أنظمة الطاقة المستدامة في جنوب العالم ونمذجة العلاقة بين المياه والطاقة. لديها تركيز بحثي إقليمي محدد على منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.

الدكتورة جوليا تيرابون-بفاف هي باحثة أولى في معهد فوبرتال. مجال بحثها الرئيسي هو التحول إلى نظام الطاقة المستدامة في البلدان النامية والناشئة، مع التركيز بشكل خاص على الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.

خبراء تمت استشارتهم في اليمن:

تخرج البروفيسور **مروان ذمرين** من جامعة صنعاء بدرجة البكالوريوس في الفيزياء عام 1998. وهو حاصل على درجة الماجستير في العلوم ودرجة الدكتوراه في الهندسة من جامعة طوكيو للزراعة والتكنولوجيا في مجال الخلايا الكهروضوئية. عمل في نفس الجامعة كباحث متعاون / أستاذ مساعد قبل انضمامه إلى Toyo Aluminium في عام 2012 كأخصائي تنفيذي أول يقود مركز التكنولوجيا الأساسي للشركة حتى سبتمبر 2020. وهو حاليا أستاذ معين خصيصا في جامعة أوساكا.

تخرج الدكتور عبد الرحمن م. بابورايك من جامعة قازان الحكومية لهندسة الطاقة (KSPEU) ، الفيدرالية الروسية (RF) ، مع بكالوريوس العلوم في هندسة الطاقة - محطات الطاقة والمحطات الفرعية وماجستير العلوم في الطاقة المتجددة. في عام 2018 ، حصل على درجة الدكتوراه في توليد الطاقة. يعمل حاليا كباحث أكاديمي ومستشار في مجال الطاقة المتجددة ، وهو عضو في مختبر أبحاث النمذجة والتحليل والتحكم في الأنظمة (MACS) في KSPU ، والعضو المنتدب والمؤسس للأكاديمية العربية للطاقة المتجددة - بوابة أرابرينا.

الآراء المعرب عنها في هذا المنشور ليست بالضرورة آراء مؤسسة فريدريش إيبرت أو المنظمات التي يعمل المؤلفون فيها .

التحول المستدام لنظام الطاقة في اليمن

تطوير نموذج مرحلي

إن الفهم الواضح للترابط الاجتماعي والتقني والرؤية المنظمة هي شروط مسبقة لتعزيز وتوجيه الانتقال إلى نظام طاقة قائم على الطاقة الجديدة بالكامل. ولتسهيل هذا الفهم، تم تطوير نموذج مرحلي للانتقال إلى الطاقة المتجددة في بلدان الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وتطبيقه على الحالة الإقليمية لليمن. وهي مصممة لدعم تطوير استراتيجية وحوكمة انتقال الطاقة ولتكون بمثابة دليل لصانعي القرار.

لا يزال الانتقال نحو الطاقة المتجددة في مرحلة مبكرة جدا في اليمن. وقد حال الصراع العسكري دون تنفيذ معظم مشاريع الطاقة المتجددة الواسعة النطاق المخطط لها. إن عدم الاستقرار السياسي، والاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري، وضعف الأداء الإداري هي المخاوف الأكثر إلحاحا لقطاع الكهرباء في اليمن. وعلى المستوى العقلاني، يحتاج اليمن إلى تحديث كامل للبنية التحتية للكهرباء، ويحتاج إلى توسيع قدراته الإجمالية مع تحسين كفاءاته .

وعلى الرغم من هذه التحديات، فإن إعادة بناء نظام الطاقة بعد الاضطرابات السياسية والصراعات العنيفة اللاحقة يمكن أن توفر لليمن القدرة على الانتقال نحو مصادر الطاقة المتجددة. وهذا من شأنه أن يوفر فرصا قصيرة الأجل وطويلة الأجل ويتجنب الاستثمارات التي تقطعت بها السبل في قدرات الوقود الأحفوري.

الأولوية هي تحسين الظروف الإطارية للطاقة المتجددة في اليمن، بدءً من تطوير استراتيجية طويلة الأجل حتى عام 2030 وما بعده. أيضا يجب إنشاء تشريع مناسب وشفاف. وعلاوة على ذلك، واستنادا إلى التشريعات، يجب إدخال تنظيمات واضحة للنظم القائمة على الطاقة المتجددة، ويجب وضع إطار زمني واقعي للتوسع من أجل تعزيز التعاون الإقليمي الاستيعاب وتطوير السوق على نطاق واسع.

تهدف نتائج التحليل على طول نموذج المرحلة الانتقالية نحو الطاقة المتجددة بنسبة 100٪ إلى تحفيز ومتابعة النقاش حول نظام الطاقة المستقبلي في اليمن من خلال توفير رؤية توجيهية شاملة لانتقال الطاقة وتطوير سياسات الملكية .

لمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع:
https://yemen.fes.de
https://mena.fes.de/topics/climate-and-energy

FRIEDRICH EBERT STIFTUNG