

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

# النفط والتعاون العربي

مجلة فصلية محكمة تصدر عن الأمانة العامة لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

الاشتراك السنوي : 4 أعداد (ويشمل أجور البريد)

**البلـدان العـربيـة**

للأفراد : 8 د. ك أو 25 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 12 د.ك أو 45 دولاراً أمريكياً

**البلدان الأخرى**

للأفراد : 30 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 50 دولاراً أمريكياً

**الاشتراكات باسم : منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول**

جميـع حقـوق الطبـع محفوظـة ويجوز الاقتبـاس مع ذكر اسم المجلة!.

# النفط والتعاون العربي

رئيس التحرير
عباس علي النقي

نائب رئيس التحرير
عبد الكريم عايد

هيئة التحرير

د. سمير القرعيش
عبد الفتاح دندي
د. اسامة الجمالي
د. سعد عكاشة
د. احمد الكواز
عماد مكي

# قواعد النشر في المجلة

## تعريف بالمجلة واهدافها

**النفط والتعاون العربي مجلة فصلية محكمة تعني بشؤون النفط والغاز والطاقة حيث تستقطب نخبة من المتخصصين العرب والأجانب لنشر أبحاثهم وتعزيز التعاون العلمي في المجالات التي تغطيها المجلة، كما تقوم على تشجيع الباحثين على إنجاز بحوثهم المبتكرة والأسهام في نشر المعرفة والثقافة البترولية وتلك المتعلقة بالطاقة وتعميمها والعمل على متابعة التطورات العلمية في مجال الصناعة البترولية.**

### الأبحاث

كافة الابحاث التي تتعلق بالنفط والغاز والطاقة والتي تهدف إلى الحصول على إضافات جديدة في حقل الفكر الإقتصادي العربي.

### مراجعة الأبحاث والكتب

تقوم المجلة بنشر المقالات التي تقدم مراجعة تحليلية لكتب أو دراسات تم نشرها حول صناعة النفط والغاز والطاقة عموماً، بحيث تكون هذه المقالات مرجعاً للباحثين حول أحدث وأهم الإصدارات المتعلقة بالصناعة البترولية.

### التقارير

تتناول التقارير وقائع مؤتمر أو ندوة حضرها الكاتب، شريطة أن تكون مواضيعها ذات صلة بالنفط والغاز والطاقة، كما يشترط استئذان الجهة التي أوفدته للمؤتمر أو المؤسسات المشرفة عليه لكي تسمح له بنشرها في مجلتنا. وان لا تزيد عدد صفحات التقرير عن 10 صفحات مع كافة الاشكال والخرائط والجداول ان وجدت.

## شروط البحث

- نشر الأبحاث العلمية الأصيلة التي تلتزم بمنهجية البحث العلمي وخطواته المتعارف عليها دوليا ومكتوبة باللغة العربية.
- ان لا يتجاوز البحث العلمي المنشور على 40 صفحة، (متن البحث، الجداول والاشكال) بدون قائمة المراجع، ويرسل إلكترونيا كاملاً إلى المجلة على شكل word document.
- ترسل الاشكال، الخرائط والصور في ملف اضافي على شكل JPEG.
- استخدام خط Times New Roman في الكتابة وبحجم 12، وان تكون المسافة بين الاسطر 1.5. وان تكون تنسيق الهوامش الكلمات بطريقة Justified.
- ان يتم الاشارة الى مصادر المعلومات بطريقة علمية واضحة.

- عند اقتباس اي معلومات من اي مصدر (اذا كانت المعلومات رقميه او رؤية معينة او تحليل ما) يجب ان لا يتم الاقتباس الحرفي وانما يتم اخذ اساس الفكرة واعادة صياغتها بأسلوب الباحث نفسه، والاشارة الى مصدر الإقتباس. أما في حالات الإقتباس الحرفي فتضع المادة المقتبسة بين علامتي الإقتباس (”...“).
- يفضل ان تذكر المدن ومراكز الابحاث والشركات والجامعات الاجنبية الواردة في سياق البحث باللغة الانجليزية ولا تكتب باللغة العربية.
- أرفاق نسخة من السيرة العلمية إذا كان الباحث يتعاون مع المجلة للمرة الأولى.
- تعبر جميع الافكار المنشورة في المجلة عن آراء كاتبيها ولا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر جهة الإصدار ويخضع ترتيب الأبحاث المنشورة وفقاً للاعتبارات الفنية.
- البحوث المرفوضة يبلغ اصحابها من دون ابداء الأسباب.
- يمنح لكل كاتب بحث خمسة أعداد من العدد الذي نشر فيه بحثه.

**ترسل المقالات والمراجعات باسم رئيس التحرير، مجلة النفط والتعاون العربي، أوابك،**
**ص. ب: 20501 الصفاة- الرمز البريدي: 13066 دولة الكويت**
**الهاتف: 24959000 -00965 أو 24959779-00965**
**الفاكس: 24959755 - 00965**
**البريد الالكتروني oapec@oapecorg.org**
**موقع الأوابك على الانترنت www.oapecorg.org**

# المحتويات

## الأبحاث

**اتفاقيات تبادل الطاقة الكهربائية بين الدول العربية**

المهندسة جميلة مطر 7

**دور شبكات الربط الكهربائي العربي في تعظيم استغلال الطاقات المولدة في وحدات الطاقات المتجددة غير المبرمجة**

د. سمير القطب 35

**مصادر الطاقات المتجددة في العالم العربي واستخداماتها في التوليد الكهربائي**

د. محمد فرحات 89

مجلة عربية تهتم بنشر المعرفة والثقافة البترولية وتلك المتعلقة بالطاقة وتعميمها والعمل على متابعة التطورات العلمية في مجال الصناعة البترولية

المقالات المنشورة في هذه المجلة تعكس آراء مؤلفيها ولا تعبر بالضرورة عن رأي منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول - أوابك

## البحـــث الأول

# اتفاقيات تبادل الطاقة الكهربائية بين الدول العربية.

**المهندسة جميلة مطر** *

مديرة إدارة الطاقة، جامعة الدول العربية.

ورقة مقدمه إلى مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر - «الطاقة والتعاون العربي» - مراكش - المملكة المغربية (1-4 أكتوبر 2018)

# التعاون العربي في مجال إنشاء سوق عربية مشتركة للكهرباء

## نظرة عامة

حظيت مشروعات الربط الكهربائي العربي باهتمام بالغ على أعلى المستويات التنفيذية بصفته أحد أهم المشروعات التكاملية العربية حيث بدأ الاهتمام به منذ إنشاء المجلس الوزاري العربي للكهرباء الذي اعتبر الربط الكهربائي محوراً لأعماله ، ثم أخذ الموضوع يتسع ليصبح جزءاً من جهد ثلاثي شارك فيه إلى جانب المجلس كل من الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي والبنك الدولي بدعم كامل من وزارات الكهرباء والطاقة في الدول العربية؛ فبعد أن بدأ البنك الدولي تقريره حول الأطر المؤسسية والتشريعية والقانونية لإنشاء السوق، وافق الصندوق العربي على إعداد دراسة حول الربط الكهربائي العربي الشامل واستغلال الغاز الطبيعي امتدت إلى ما يقرب العامين منذ إطلاق العمل فيها في فبراير 2012؛ وعقدت خلال تلك الفترة العديد من الاجتماعات ودارت حول الدراسة الكثير من المناقشات.

و يمّهد الربط الكهربائي العربي لإقامة سوق عربية مشتركة للكهرباء بين الدول العربية تتم من خلالها عمليات تبادل تجارة الكهرباء بشكل يحقق الكثير من المزايا الاقتصادية والاجتماعية لكافة الدول المشاركة في السوق.

تعرض هذه الورقة واقع قطاع الكهرباء في الدول العربية من حيث الإنتاج والاستهلاك، وطبيعة العوامل التي تدفع نحو الاهتمام بتكامل أسواق الكهرباء العربية والمزايا المتوقع الحصول عليها جراء تحقيق هذا التكامل. يتم الانتقال بعد ذلك إلى استعراض الملامح الرئيسية للسوق العربية المشتركة للكهرباء مع التركيز على الإطار التشريعي والمؤسسي للسوق والخطة التنفيذية اللازمة لتحقيق هذه الغاية مع إبراز دور المجلس الوزاري العربي للكهرباء ومؤسسات التمويل في دعم وتنفيذ هذا المشروع.

## و اقع قطاع الكهرباء في الدول العربية:

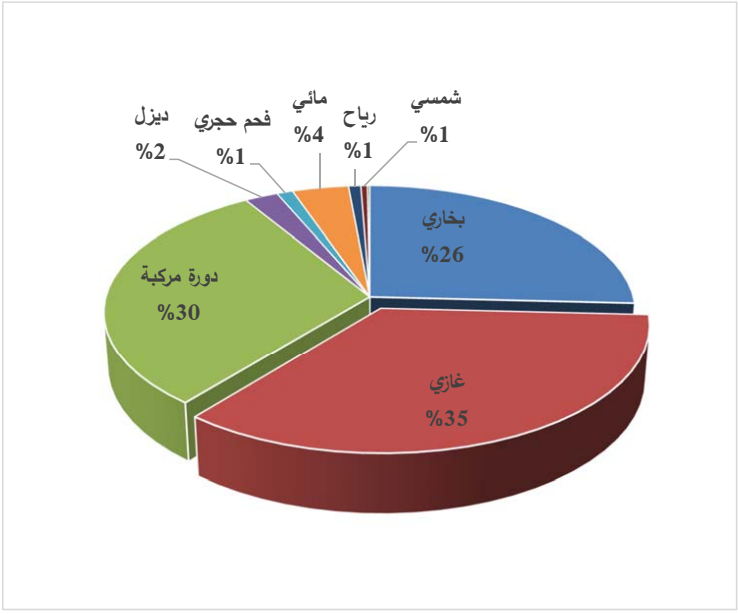
### أولاً: القدرات المركبة:

بلغت جملة القدرات المركبة لإنتاج الكهرباء في الدول العربية حوالي 264103 ميجاوات في عام 2017، ويبين الشكل (1) نسبة مساهمة المصادر المختلفة لإنتاج الكهرباء في الدول العربية. ويلاحظ تزايد معدلات استخدام الطاقة الكهربائية كرد فعل للنمو السكاني المطرد، والتوسع في مجالات البنية التحتية والصناعية، بزيادة نسبية تقدر بحوالي 24.5% مقارنة بعام 2010 والتي بلغت 814.3 تيرا وات ساعة. وتجدر الإشارة إلى أن الدول العربية ما زالت في مرحلة نمو في شتى المجالات الاقتصادية مما يستدعي تلبية الطلب المتزايد

على الطاقة، ولذلك فإن الطاقة الكهربائية المستخدمة بالدول العربية في ازدياد مستمر سنوياً، ويعرض الشكل (2) القدرات المركبة والحمل الأقصى لمجموعة من الدول العربية في عام 2017 بالميجاوات.

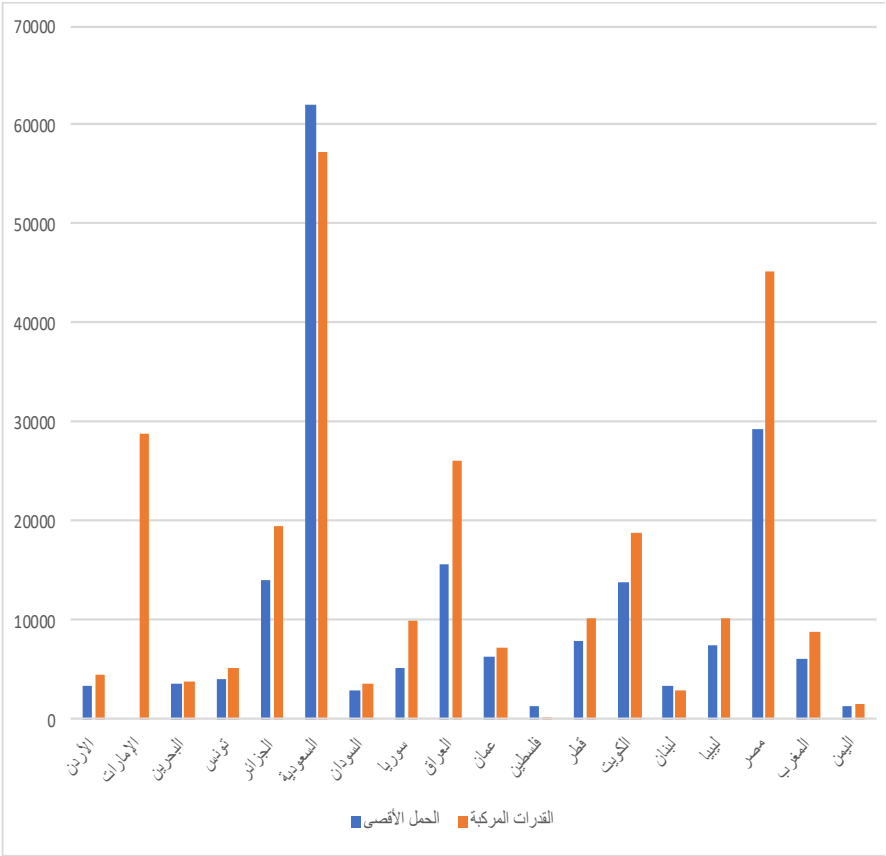
في المقابل، تعاني البنية الأساسية لقطاع الكهرباء في الدول العربية من ضعف الكفاءة، حيث يصل متوسط الفقد في الطاقة الكهربائية على مستويات الإنتاج والنقل والتوزيع إلى حوالي 19%، بينما يبلغ المعدل العالمي حوالي 8% [1].

**الشكل (1) نسبة القدرات المركبة لإنتاج الكهرباء في الدول العربية**




[1] المنتدى العربي للبيئة والتنمية (أفد) 2014، الملخص التنفيذي لتقرير أفد حول الطاقة المستدامة في البلدان العربية، ص 7.

**الشكل (2) القدرات المركبة والحمل الأقصى لمجموعة من الدول العربية عام 2017 (بالميجاوات)**



**ثانياً: الاستهلاك:**

تختلف معدلات نمو استخدام الطاقة الكهربائية في الدول العربية وفق طبيعة الاستخدام، ومستوى إتاحة مصادر الطاقة بكل دولة، وتشير الإحصاءات إلى زيادة متوسط استهلاك الفرد من الكهرباء بنحو 47.5 % مقارنة بعام 2010، ليصل متوسط نصيب المواطن العربي إلى 5278 كيلو وات ساعة في عام 2017، كما هو موّضح في الجدول (1).

وقد ارتفع الطلب على الطاقة الكهربائية عربياً بنسبة 6.2 % في المتوسط في الفترة ما بين 2000– 2010، ليصل إلى 655.8 في عام 2010، في حين ارتفع الطلب على الطاقة الكهربائية بنسبة 19.4% في الفترة ما بين 2010– 2014، ليصل إلى حوالي 1166.4 تيراوات ساعة، ومن المتوقع أن يرتفع الطلب إلى حوالي 1639 تيراوات ساعة بحلول عام 2023، وإلى 2029 تيراوات ساعة حتى عام 2028، كما ارتفع الحمل الأقصى للدول العربية إلى 159969 ميجا وات في عام 2013، ومن المتوقع أن يصل إلى حوالي 224539 ميجاوات في عام 2018. ويوضح الجدول (2) توقعات الطلب على الطاقة والحمل الأقصى للأعوام 2018، 2023، 2028.

ومن المتوقع أن تعاني البنية التحتية لقطاع الكهرباء العربي من ضغوط كبيرة في السنوات القادمة، لأسباب عدة منها تلبية الطلب المتزايد على الاستهلاك والحاجة إلى مد الشبكة الكهربائية إلى مناطق ريفية لا توجد فيها حالياً كما هو الحال في اليمن والسودان مثلاً.

**الجدول (1) المتوسط السنوي لاستهلاك الفرد من الكهرباء**

| الدولــة | عدد السكان (بالمليون نسمة) | | نسبة المزودين بالكهرباء (%) إلى إجمالي السكان (معدل الوصول إلى الشبكة) | نصيب الفرد (ك.و.س./ السنة) |
|---|---|---|---|---|
| | 2017 | معدل النمو% | | |
| الأردن | 10.1 | 2.6 | 99.9 | 1,995 |
| الإمارات | 9.1 | - | 100 | 14,197 |
| البحرين | 1.5 | 5.4 | - | 12,015 |
| تونس | 11.4 | 1.3 | 99.8 | 1,671 |
| الجزائر | 41.9 | 1.7 | 99 | 1,684 |
| السعودية | 32.6 | 2.7 | 99.9 | 6,356 |
| السودان | 40.8 | 3.0 | 30 | 403 |
| سوريا | 22.0 | - | 99.9 | 1958 |
| العراق | 39.0 | 2.6 | 99.0 | 2,544 |
| عُمـان | 4.3 | 0.2 | - | 7,110 |
| فلسطين | 5.0 | 4 | 98 | 938 |
| قطـر | 2.64 | 1.5 | 100 | 17,248 |
| الكويت | 4.5 | 2 | 89 | 16,180 |
| لبنـان | 6.0 | 3.2 | 99 | 2,980 |
| ليبيـا | 7.0 | 1.51 | 98 | 5,332 |
| مصـر | 93.0 | 2.1 | 99.9 | 2,035 |
| المغرب | 34.9 | 1.1 | 99 | 1,077 |
| اليمـن | 26.5 | 8.6 | 52 | 289 |

الاتحاد العربى للكهرباء – النشرة الإحصائية 2017

**الجدول (2) توقعات الطلب على الطاقة والحمل الأقصى للأعوام 2018، 2023، 2028**

| الدولـة | السنــة | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2018 | | 2023 | | 2028 | |
| | الطاقة المنتجة (ج.و.س.) | الحمل الأقصى (م.و.) | الطاقة المنتجة (ج.و.س.) | الحمل الأقصى (م.و.) | الطاقة المنتجة (ج.و.س.) | الحمل الأقصى (م.و.) |
| الأردن | 20,234 | 3,480 | 25,032 | 4,123 | 31,044 | 4,957 |
| الإمارات | 128,000 | 27,661 | 149,000 | 38,795 | 174,838 | 54,413 |
| البحرين | 19,265 | 3,800 | 23,406 | 4,591 | 28,117 | 5,489 |
| تونس | 18,810 | 4,200 | 21,340 | 4,920 | 25,780 | 5,960 |
| الجزائر | 78,082 | 15,396 | 103,823 | 20,472 | 123,857 | 24,422 |
| السعودية | 371,315 | 62,631 | 409,374 | 69,248 | 458,970 | 76,627 |
| السودان | 21,333 | 3,992 | 29,104 | 5,302 | 56,466 | 6,607 |
| سوريا | 30,000 | 5,300 | 42,077 | 7,434 | 53,702 | 9,487 |
| العراق | 122,700 | 17,000 | 214,650 | 26,200 | 275,000 | 42,700 |
| عُمـان | 34,164 | 6,550 | 48,005 | 8,960 | 59,534 | 11,112 |
| فلسطين | 4,770 | 1,450 | 6,380 | 1,850 | 8,147 | 2,360 |
| قطـر | 47,167 | 8,035 | 59,400 | 9,573 | 67,650 | 10,570 |
| الكويت | 77,154 | 14,628 | 103,250 | 19,576 | 130,497 | 24,742 |
| لبنـان | 15,600 | 3,675 | 19,533 | 4,645 | 22,863 | 5,490 |
| ليبيـا | 44,845 | 7,797 | 58,004 | 10,217 | 90,943 | 15,624 |
| مصـر | 199,902 | 30,800 | 266,283 | 40,855 | 344,449 | 52,670 |
| المغرب | 38,884 | 6,465 | 50,049 | 8,211 | 64,541 | 10,419 |
| اليمـن | 8,185 | 1,679 | 10,395 | 2,044 | 12,954 | 2,463 |

الاتحاد العربي للكهرباء – النشرة الإحصائية 2017

## دو افع تكامل أسواق الكهرباء في الدول العربية:

هناك الكثير من العوامل التي هيأت الظروف للتفكير في ضرورة ربط الشبكات الكهربائية العربية، يمكن تلخيصها فيما يلي:

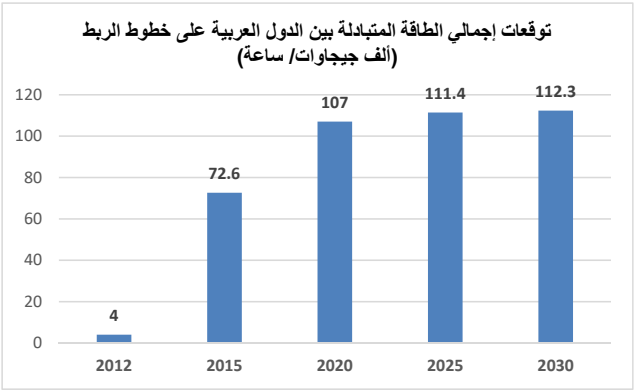
- تنوع مصادر الطاقة في الوطن العربي من نفط وغاز طبيعي، وطاقة متجددة بالإضافة إلى توجه بعض الدول العربية لإدخال الخيار النووي لإنتاج الكهرباء ضمن خليط الطاقة لديها.
- الاختلاف اليومي والفصلي والسنوي في الطلب على الطاقة بين الدول العربية.
- تفاوت أوقات الحمل الأقصى على مستوى الأقطار العربية.

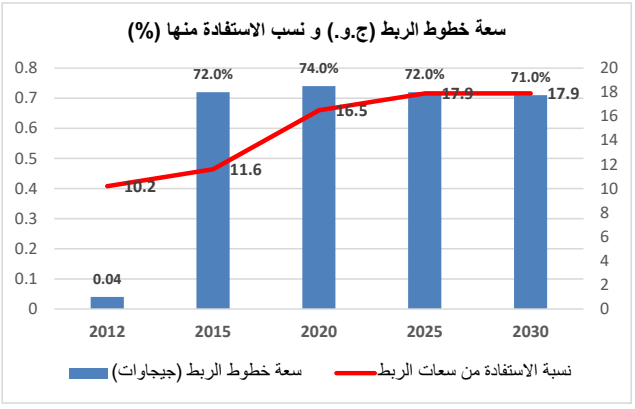
لذلك أولت الدول العربية اهتماما كبيرا لموضوع الربط الكهربائي وذلك من منطلق إدراكها للعوائد الاقتصادية والفنية التي تعود على الدول العربية من خلال ربط شبكاتها الكهربائية والمتمثلة بشكل أساسي في:

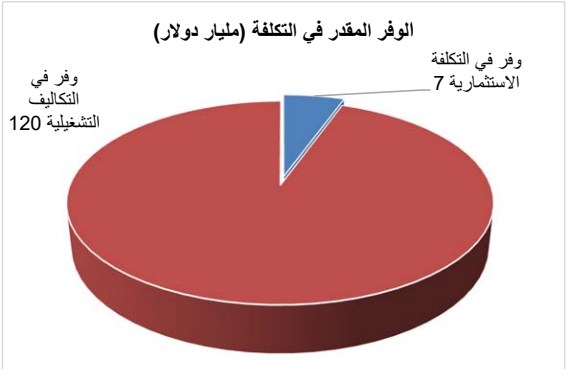
- تقليل حجم الاستثمار في قطاع توليد الطاقة الكهربائية نتيجةً لتقليل الاحتياطي في محطات التوليد الكهربائية لكل دولة.
- الاستفادة من اختلاف أوقات الذروة واختلاف التوقيت بما يسمح بزيادة القدرة الممكن تبادلها بين الشبكات المرتبطة.
- زيادة كفاءة الأنظمة الكهربائية واعتماديتها بتقديم الدعم في حالات الطوارئ.
- استغلال شبكات الربط الكهربائي في إنشاء شبكات نقل المعلومات بين الدول المرتبطة.

وقد خرجت نتائج دراسات الجدوى الاقتصادية والفنية لمشروع الربط الكهربائي العربي الشامل بنتائج إيجابية من ناحية الإرتفاع المتوقع في كمية الطاقة المتبادلة بين الدول العربية (شكل "3")، أو الوفر المقدر في تكاليف التوليد في الدول العربية حتى عام 2030 حيث قدرت القيمة الحالية PV بأسعار عام 2014 للوفورات بحوالي 35 مليار دولار بالإضافة إلى وفر إضافي يقدر بحوالي 11 مليار دولار نتيجة لإنخفاض انبعاث الغازات الضارة بالبيئة. وتعد مشاريع الربط الكهربائي من أهم المشاريع التي من شأنها الإسهام في مواجهة الزيادة في الطلب على الطاقة الكهربائية المصاحبة لخطط التنمية الاقتصادية، حيث يتم من خلال الربط الاستعانة بقدرات التوليد الفائضة أو الرخيصة في بلد ما كاحتياطي للبلدان الأخرى، مما يضمن تزويد المستهلك بالطاقة الكهربائية بأسعار مناسبة وموثوقية عالية.

**شكل 3: فرص إنشاء السوق العربية المشتركة للكهرباء**



يوضح جدول (3)، والشكل (4) كمية الطاقة الكهربائية المتبادلة (جيجاوات/ساعة) في عام 2017 والتي تظهر ارتفاع كمية الطاقة المستوردة مقارنة بالطاقة المصدرة في معظم الدول العربية، وإذا ما أخذنا في الاعتبار حقيقة أن الطاقة المستوردة تأتي في معظمها من دول غير عربية كإيران وتركيا حيث استوردت منهم العراق طاقة كهربائية بلغت 7785 ج.و.س. تمثل حوالي 9٪ من الإنتاج المحلي للشبكة الوطنية في عام 2014، كما استوردت فلسطين 4670 ج.و.س. من الكيان الصهيوني تمثل حوالي عشر أضعاف ما أنتجته محلياً، وتستورد المغرب من إسبانيا معظم الكمية المتبادلة

**جدول (3) كمية الطاقة الكهربائية المتبادلة**

**(بالجيجاوات ساعة)**

| الدولــة | الطاقة المصدرة | الطاقة المستوردة |
|---|---|---|
| الأردن | 57 | 51 |
| الإمارات | 513 | 410 |
| البحرين | 513 | 556 |
| تونس | 412 | 449 |
| الجزائر | 880 | 537 |
| السعودية | 438 | 389 |
| السودان | | 891 |
| سوريــا | 543 | 0 |
| العراق | | 13625 |
| عُمــان | 105 | 111 |
| فلسطين | | 4300 |
| قطــر | 95 | 76 |
| الكويت | 531 | 553 |
| لبنــان | | 3615 |
| ليبيــا | 0.4 | 302 |
| مصــر | 333 | 65 |
| المغرب | 161 | 6058 |
| اليمن | | 2300 |

الاتحاد العربي للكهرباء – النشرة الإحصائية 2017

## الملامح الرئيسية لمشروع السوق العربية المشتركة للكهرباء:

توجد في المنطقة العربية ثلاثة مشاريع كبرى تغطي المشرق العربي، المغرب العربي والخليج العربي على النحو التالي (شكل 4):

1. مشروع الربط الكهربائي الثماني: يهدف هذا المشروع إلى ربط الشبكات الكهربائية لكل من (الأردن، سوريا، العراق، لبنان، مصر، ليبيا، فلسطين، تركيا) على جهد 500/400 ك.ف.
2. مشروع الربط الكهربائي لدول المغرب العربي: يهدف هذا المشروع إلى ربط الشبكات الكهربائية لكل من (ليبيا، تونس، الجزائر، المغرب، موريتانيا) على جهد 400 و220 ك.ف.
3. مشروع الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية: ويهدف هذا المشروع إلى ربط الشبكات الكهربائية لكل من (دولة الإمارات العربية المتحدة، مملكة البحرين، المملكة العربية السعودية، سلطنة عُمان، دولة قطر، دولة الكويت).

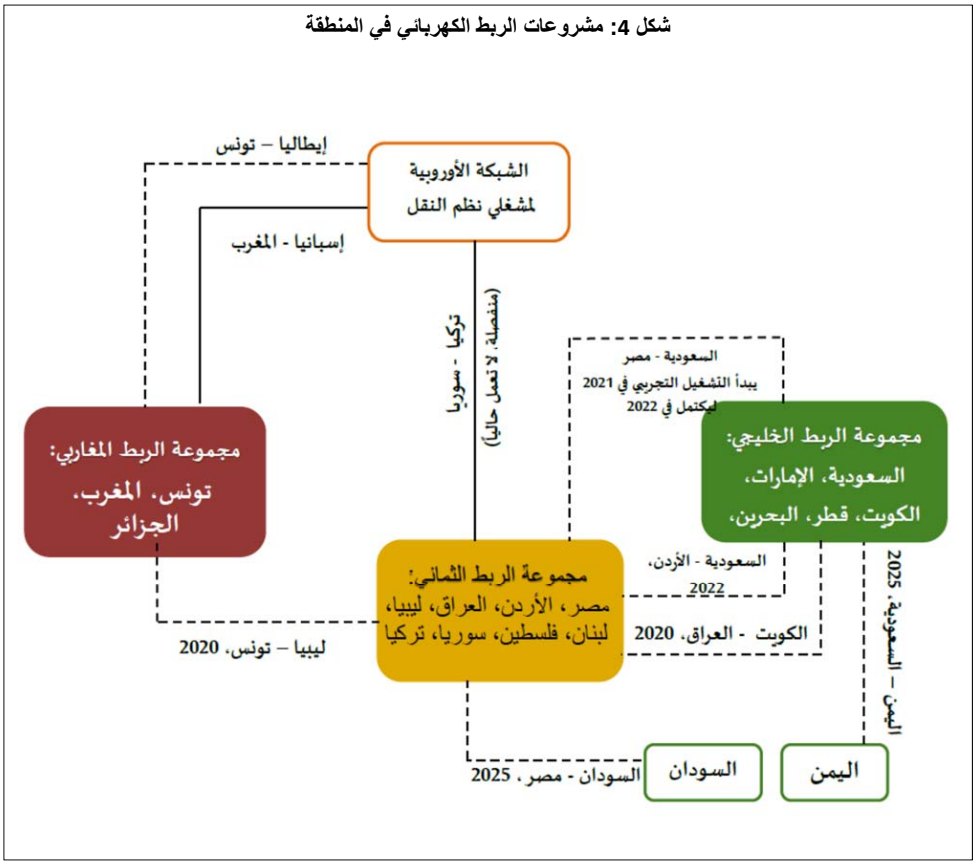
إلى جانب ذلك، هناك مشروعات فرعية للربط. الأول: الربط المصري السعودي ويربط أكبر منظومتين في الوطن العربي (90 ألف ميجاوات) من خلال الربط على جهد 500 ك.ف تيار مستمر وبقدرة نقل 3000 ميجاوات. وقد تم توقيع مذكرة تفاهم في يونيو 2013 واتفاقيات الربط في ديسمبر من العام ذاته.

الثاني: مشروع الربط الكهربائي المصري السوداني بقدرة 300 ميجاوات كمرحلة أولى قابلة للتوسع حتى 3000 ميجاوات.

يعتمد مشروع السوق العربية المشتركة للكهرباء على التقدم المحرز بالفعل في تنفيذ الربط الكهربائي وتجارة الكهرباء بين دول مجموعات الربط المختلفة، وكذلك خطط التكامل بين شبكات نظم معزولة في الوقت الحاضر (السودان واليمن وجيبوتي والصومال وجمهورية القمر وموريتانيا)؛ ورغبة في تحقيق المزيد من التقدم في تجارة الكهرباء داخل مجموعات الربط وفيما بينها عن طريق إنشاء سوق الكهرباء العربي لإنشاء وتشغيل سوق كهرباء تنافسية تغطي جميع الدول العربية.

وتتمثل مبادئ وأهداف إنشاء سوق عربية مشتركة للكهرباء في تحقيق أفضل النتائج على المدى القصير والمدى الطويل لإمدادات الكهرباء على أساس إقليمي عربي عام، وليس فقط على أساس وطني؛ وبتمكين تجارة وتبادل الكهرباء بين مشتري وبائعي الكهرباء ليس فقط داخل أسواقهم الوطنية، بل على مستوى جميع أسواق الدول الأعضاء على أساس الوصول العادل للشبكة والمنافسة. هذا بالإضافة إلى تشجيع الاستثمار العام والخاص في المشروعات الكبيرة في مجال توليد ونقل الكهرباء ذات الأهمية الإقليمية.

**شكل 4: مشروعات الربط الكهربائي في المنطقة**




## الإطار التشريعي والمؤسسي للسوق العربية المشتركة الكهرباء (حوكمة السوق):

تقوم السوق العربية المشتركة للكهرباء على أساس وجود إطار تشريعي، وإطار مؤسسي متين إلى جانب المسائل الفنية لتحقيق هدف تكامل سوق الكهرباء العربية؛ وفيما يلي تفاصيل ذلك

## أولاً: الإطار التشريعي:

يقوم الإطار التشريعي للسوق العربية المشتركة للكهرباء على أساس اعتماد أربع وثائق أساسية لحوكمة سوق الكهرباء كما هو موّضح بالشكل 5، هي:

**شكل 5: السوق العربية المشتركة للكهرباء**
**الإطار التشريعي والمؤسسي – الوثائق الرئيسية**




- **مذكرة التفاهم:**

تعبر عن الالتزام السياسي للدول العربية بالخطة التنفيذية للسوق، وتشكل اللبنة الأولى والأهم في إنشاء السوق العربية المشتركة للكهرباء؛ وقد تم الموافقة على مذكرة التفاهم بموجب قرار مجلس جامعة الدول العربية على مستوى وزراء الخارجية رقم 8088 بتاريخ 2016/9/8 كما تم التوقيع عليها من قبل وزراء الكهرباء والسفراء المعتمدين لدى جامعة الدول العربية يوم الخميس الموافق 6 ابريل 2017 ضمن احتفالية نظمت على هامش الدورة 12 للمجلس الوزاري العربي للكهرباء، وأصبح هذا اليوم أحد العلامات المميزة التي أضاء بها المجلس طريقه نحو التكامل الاقتصادي بأوجهه المتعددة.

- **الاتفاقية العامة:**

تتضمن الأهداف والمبادئ الاسترشادية للسوق العربية المشتركة للكهرباء ومسارها الانتقالي، حقوق والتزامات الدول الأعضاء، دور ومسئوليات مؤسسات أو لجان السوق العربية المشتركة للكهرباء، اللوائح الداخلية لمؤسسات أو لجان السوق العربية المشتركة للكهرباء، وآلية لفض المنازعات، وتوقّع على هذه الاتفاقية الدول الأعضاء.

- **اتفاقية السوق العربية المشتركة للكهرباء:**

هي وثيقة أكثر تفصيلا تصف كيفية تنفيذ أطرافها للالتزامات المحددة في مذكرة التفاهم والاتفاقية العامة، وتغطي الجوانب التجارية للسوق العربية المشتركة للكهرباء، وتتضمن تبعاً لذلك قواعد السوق (أو القانون التجاري). وتتناول هذه الاتفاقية تحديد التزام الأطراف، وصف السوق والوضع القانوني والأدوار والمسئوليات الخاصة بمؤسسات أو لجان السوق تحديد أدوار ومسئوليات المتعاملين فيه، تحديد الخدمات المقرر الاتجار فيها وإجراءات ذلك ومقابل خدمات النقل وحساب كميات الكهرباء والمحاسبة والتسوية وضمانات السداد. ويوقع على هذه الاتفاقية ملاك الأصول (المرافق، مشغلو نظم النقل، كيانات المشتري الواحد، الخ).

- **قواعد تشغيل "كود" شبكة الكهرباء العربية المشتركة:**

هي وثيقة تحدد بصورة قانونية المتطلبات الفنية للربط بنظام النقل واستخدامه من قبل مستخدمي الشبكة على نحو يضمن موثوقية وفاعلية وسلامة التشغيل. وقواعد تشغيل الشبكات تصبح ضرورية في حالة التغيرات في الهيكل التنظيمي، أو إعادة هيكلة قطاع الكهرباء، أو ملكية قطاع الكهرباء، والحاجة إلى "الوصول المفتوح" لنظام النقل، وتعمل هذه القواعد على تمكين مشغلي نظم النقل من إدارة شبكة النقل

ذات الجهد العالي بطريقة سليمة وآمنة واقتصادية، فضلا عن تمهيد السبيل لفرص متساوية لاستخدام شبكة النقل بشفافية وبدون تمييز. يوقعها مشغلو نظم النقل وغيرهم من المشاركين في السوق.

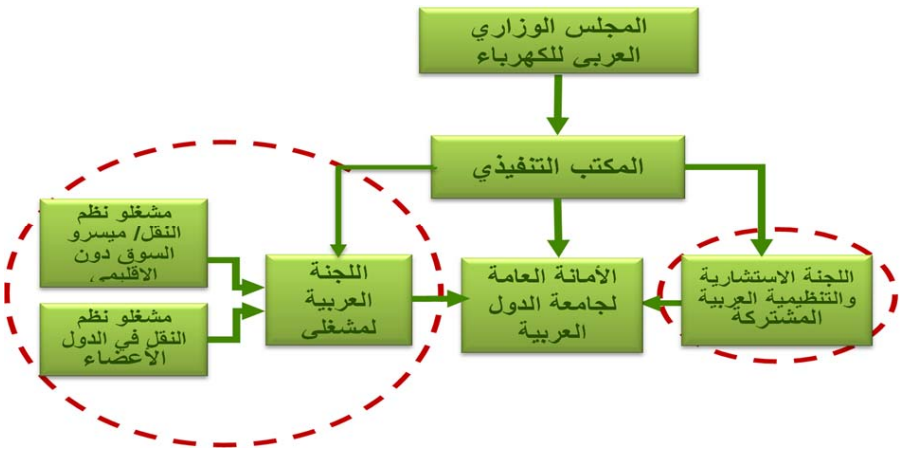
## ثانياً: الإطار المؤسسي:

يقوم الإطار المؤسسي للسوق، بالإضافة إلى المجلس الوزاري العربي للكهرباء ومكتبه التنفيذي وأمانته الفنية واللجان الانتقالية المتمثلة في اللجنة التوجيهية وفريق العمل التابع لها، اللذين تم تشكيلهما في وقتٍ سابق، يتم إنشاء لجنتين إقليميتين بعد دخول الاتفاقية العامة حيز النفاذ، تحت مسمى:

1. **اللجنة الاستشارية التنظيمية:** تمارس اللجنة دوراً استشارياً فيما يتعلق بالمسائل ذات الطبيعة السيادية أو التجارية وذلك من خلال تقديم التوصيات للمكتب التنفيذي والمجلس الوزاري العربي للكهرباء، كما تمارس دوراً تنظيمياً فيما يتعلق بالمسائل الفنية وتشكل اللجنة من عضو واحد من كل دولة من الدول الأطراف في السوق العربية المشتركة للكهرباء. كما أنها تتيح مشاركة المنتدى العربي لهيئات تنظيم الكهرباء. وتجتمع اللجنة بشكل منتظم، على الأقل مرتين في السنة.

2. **لجنة مشغلي نظم النقل الإقليميين:** الوظيفة الأساسية لهذه اللجنة هي العمل مع مشغلي نظم النقل بمجموعات الربط والنظم الوطنية فيما يتعلق بالتخطيط وتشغيل الشبكات، والتعاون بين مشغلي نظم النقل الوطنيين. بهدف التأكد من تحقيق تكامل السوق، وموثوقية وتأمين الإمدادات، والكفاءة، والابتكار التقني.

شكل 6: الإطار المؤسسي للسوق العربية المشتركة للكهرباء




## الخطة التنفيذية لإنشاء السوق العربية المشتركة للكهرباء (خارطة الطريق):

نظراً لتنوع هياكل الأسواق الوطنية للكهرباء، وتباين وتيرة التقدم في عمليات الإصلاح في كل دولة، وكذلك الاختلافات الفنية بين الروابط الكهربائية بمجموعات الربط القائمة؛ فقد كان من الضروري اعتماد التدرج في تنفيذ المشروع لتحقيق الموائمة بين متطلبات التنفيذ في جميع الدول الأعضاء، لذا فقد تم الاتفاق على أربعة مراحل للتنفيذ بخلاف المرحلة التأسيسية على النحو التالي:

- المرحلة التأسيسية: دراسة الجدوى الاقتصادية لتعزيز وتوسعة البنية التقنية وتأسيس وتطوير الأطر المؤسسية والتشريعية للسوق العربية المشتركة للكهرباء وفقاً للبرنامج الزمني.
- المرحلة الأولى: سوق انتقالية للكهرباء يتم خلالها التركيز على تحديد وتوسعة فرص التجارة. وخلال هذه المرحلة تستمر الدول الأعضاء في اتخاذ إجراءاتها الداخلية لإصلاح أسواق الكهرباء الداخلية.
- المرحلة الثانية: توسيع فعالية السوق الانتقالية مع التركيز على فصل مشغلي نظم النقل TSOs عن باقي الأنظمة العاملة في مجال الكهرباء بما يتناسب مع سياسات الدول واستحداث المنافسة على مستوى الجملة.

- المرحلة الثالثة: التحرك نحو التصميم النهائي للسوق مع التركيز على المنافسة الكاملة في قطاع الجملة.
- المرحلة الرابعة: تكوين سوق عربية مشتركة للكهرباء متكاملة، مع التركيز على شبكة كهرباء عربية ذات ربط كهربائي وتزامن كامل. (تفاصيل أكثر في الملحقين رقم "1" و "2")

## دور المجلس الوزاري العربي للكهرباء في دراسة وتنفيذ المشروع:

مع بداية عام 2001 أصبح الاهتمام بمشروعات الربط الكهربائي العربي على مستوى القمة العربية، حيث كلّفت قمة عمان 13 (مارس 2001) في قرارها رقم 212 المجلس الوزاري العربي للكهرباء بوضع خطة محددة للإسراع في استكمال الربط الكهربائي العربي وتقويته، ودعت مؤسسات التمويل العربية للمساهمة في تمويل مشاريع الربط الكهربائي العربي. وقد فوض المجلس في دورته الرابعة (ابريل 2001) المكتب التنفيذي بمتابعة تنفيذ قرار القمة العربية المتعلق بوضع خطة لسرعة استكمال وتقوية الربط الكهربائي بين الدول العربية، ورفع ما يتم التوصل إليه إلى القمة العربية القادمة عام 2002 من خلال القنوات المحددة. وقد وافقت قمة بيروت العادية 14 (مارس 2002) بموجب القرار رقم 236 على التقرير المقدم من المجلس حول الإسراع في استكمال الربط الكهربائي بين الدول العربية، وكلّفت المجلس بالعمل على ترتيب توفير التمويل اللازم لإعداد الدراسات المطلوبة. واستمر المجلس الوزاري العربي للكهرباء في متابعة كافة الجوانب الفنية والمالية الخاصة بتنفيذ المشروع حيث قرر المجلس في دورته السادسة (ابريل 2005) تكليف أحد المكتب الاستشارية لإعداد دراسة تتضمن تصوراً لسير أعمال ومشروعات الربط الكهربائي بين الدول العربية ومع الدول الأخرى لمدى عشرين سنة وإمكانيات استغلال النفط والغاز لتصدير الطاقة الكهربائية ومتطلبات المواءمة المؤسسية والقانونية اللازمة في الدول العربية وكلف فريقاً من الخبراء لإعداد الشروط المرجعية للدراسة وبما ينسجم مع قرار القمة العربية (الجزائر 2005)، كما قرر المكتب التنفيذي–21– (مايو 2006) تشكيل فريق عمل من خبراء الدول بإضافة إلى الإسكوا وهيئة الربط الخليجي، والأوابك للعمل على مراجعة وتحديث الشروط المرجعية للدراسة، وتم إقرارها في دورته السابعة (ابريل 2007)، ثم وافق على تشكيل اللجنة التوجيهية من خبراء الدول العربية أعضاء المكتب التنفيذي على أن تتولى اللجنة متابعة الدراسة حتى الانتهاء منها وتشكيل فريق عمل متخصص للتقييم الفني والمالي والقانوني، يختص بالمتابعة المستمرة والدورية لإنجاز الأعمال المتعلقة بالدراسة، وفي ضوء ما تقرره اللجنة التوجيهية، وقد توّجت هذه الجهود مجتمعة بالاحتفالية التي أقيمت على هامش اجتماع المجلس في دورته الثانية عشرة (ابريل 2017) حيث تم الاحتفال بتوقيع مذكرة التفاهم لإنشاء سوق عربية مشتركة للكهرباء من جانب وزراء الكهرباء والسفراء المعتمدين لأربعة عشرة دولة عربية

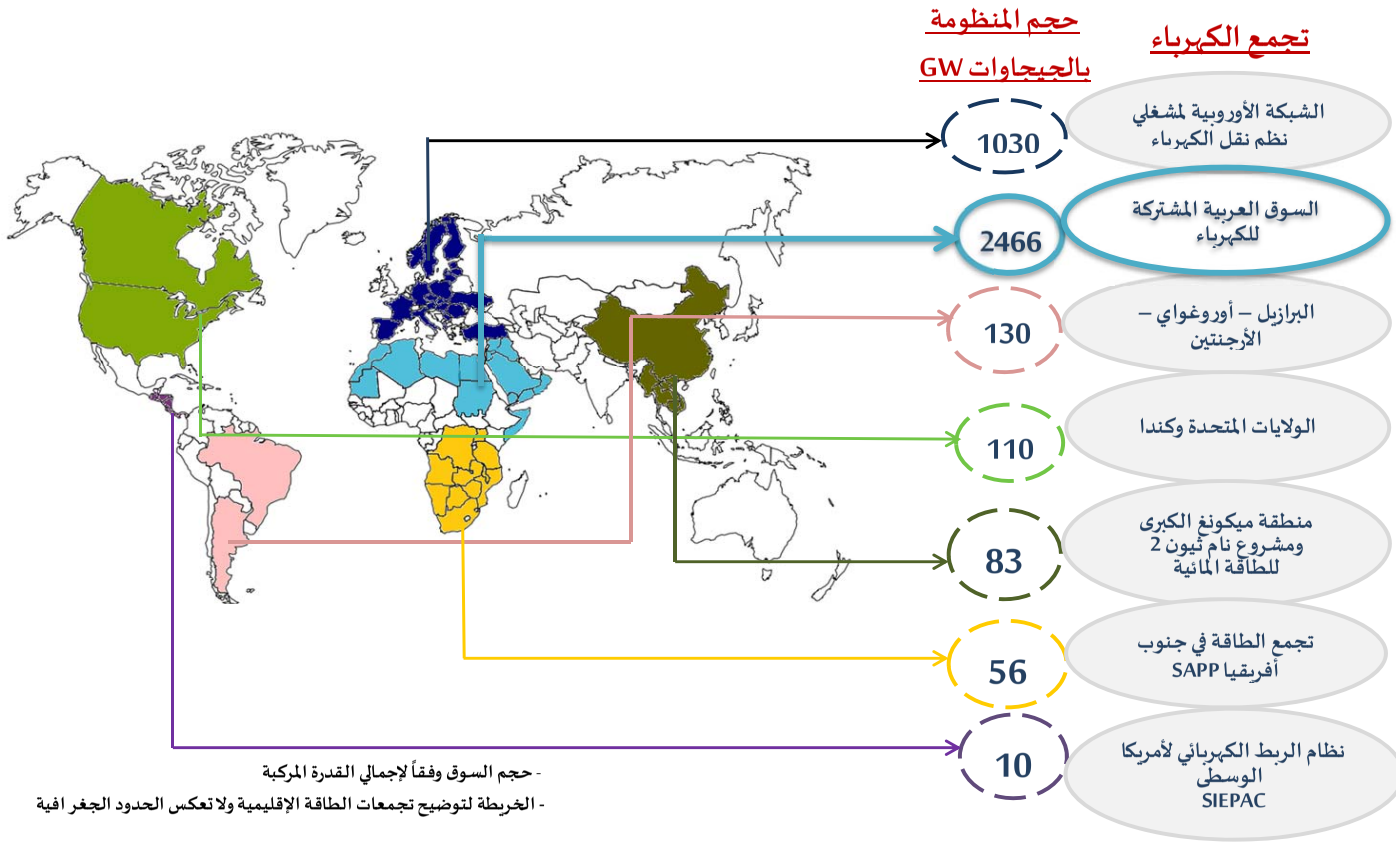
هي:(الإمارات، البحرين، الجزائر، السعودية، السودان، العراق، سلطنة عمان، قطر، القمر، الكويت، ليبيا، مصر، المغرب، اليمن) كما وقع عليها في مرحلة لاحقة كل من الاردن وفلسطين، وبذلك تكون مذكرة التفاهم قد دخلت إلى حيز النفاذ.

**دور مؤسسات التمويل:**

يحظى هذا المشروع باهتمام مؤسسات التمويل العربية والدولية حيث قام الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي بتنفيذ دراسة الربط الكهربائي العربي الشامل التي كانت تهدف إلى وضع الإستراتيجية والمخطط الرئيسي لتطوير تبادل الطاقة بين الدول العربية سواءً عن طريق الغاز الطبيعي أو الكهرباء والمفاضلة في التكاليف والمنافع بين تصدير الكهرباء و/أو الغاز الطبيعي. وقد بلغت تكلفة الدراسة التي أجراها الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي حوالي 1.3 مليون دولار تم تنفيذها من خلال مع مكتب استشاري متخصص انجزها في 18 شهراً (فبراير 2012–أغسطس 2013). وقد تم في إطار هذه الدراسة بناء قاعدة بيانات حول الوضع الحالي لمشاريع الربط الكهربائي القائمة وقيد التنفيذ والمخططة، ووضع مخططات لمنظومات التوليد والنقل والربط حتى عام 2030، ووضع مذكرة للمعايير المشتركة للتخطيط بشأن الاعتمادية والأمان، واستشراف الطلب على الطاقة والحمل الأقصى، كما تمت مراجعة دراسات الربط السابقة بين الدول العربية ومع الدول الأوربية وحوض النيل.

من جهة أخرى؛ يقوم البنك الدولي حالياً بالاشتراك مع أمانة المجلس الوزاري العربي للكهرباء وفريق فني متخصص تقوده لجنة توجيهية من أعضاء المكتب التنفيذي بالانتهاء من إعداد الأطر المؤسسية والتشريعية والقانونية لقيام السوق العربية المشتركة للكهرباء والمتوقع أن يكون لها دور كبير في تجارة الطاقة داخل وخارج المنطقة العربية كما يوضح الشكل رقم "7" أدناه.

الشكل "7" : دور السوق العربية المشتركة للكهرباء في تجارة الكهرباء داخل وخارج المنطقة




- حجم السوق وفقاً لإجمالي القدرة المركبة
- الخريطة لتوضيح تجمعات الطاقة الإقليمية ولا تعكس الحدود الجغرافية

**ملحق رقم (1)**

**البرنامج الزمني الشامل لإنشاء سوق عربية مشتركة للكهرباء على عدة مراحل**

| الرقم | المرحلة | الهدف | الموعد المخطط للبدء والانتهاء |
|---|---|---|---|
| 1 | المرحلة التأسيسية بالتعاون مع كل من الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي والبنك الدولي | دراسة الجدوى الفنية والاقتصادية لتعزيز وتوسعة البنية التقنية للسوق العربية المشتركة للكهرباء، وتأسيس وتطوير الأطر المؤسسية والتشريعية للسوق العربية المشتركة للكهرباء. ومستندات حوكمة السوق العربية المشتركة للكهرباء. | 2018 – 2010 |
| 2 | المرحلة الانتقالية الأولى | تصميم السوق العربية المشتركة للكهرباء انتقالي مع التركيز على تحديد وتوسعة فرص التجارة. | 2024 -2019 |
| 3 | المرحلة الانتقالية الثانية | توسيع فعالية السوق العربية المشتركة للكهرباء الانتقالي مع التركيز على فصل مشغلي نظم النقل عن باقي الأنظمة العاملة في مجال الكهرباء، واستحداث المنافسة على مستوى الجملة. | 2031-2025 |
| 4 | المرحلة الانتقالية الثالثة | التحرك نحو التصميم النهائي للسوق العربية المشتركة للكهرباء، مع التركيز على المنافسة الكاملة في قطاع الجملة المدعومة من أسواق مالية متعددة. | 2036 -2032 |
| 5 | المرحلة الانتقالية الرابعة | تحقيق السوق العربية المشتركة للكهرباء المتكامل، مع التركيز على شبكة كهرباء عربية ذات ربط كهربائي وتزامن كامل. | 2038 -2037 |

**ملاحظـــات:**

1- يعتمد توقيت المراحل على توصيات دراسة الجدوى الفنية والاقتصادية لتعزيز وتوسعة البنية التقنية للسوق العربية المشتركة للكهرباء.

2- قد تتداخل المراحل المذكورة أعلاه أثناء التنفيذ نظراً لاختلاف مستوى تطور السوق الوطنية من دولة إلى أخرى.

3- جدول مبدئي قابل للتحديث بشكل دوري.

**ملحق (2): البرنامج التفصيلي لمراحل السوق العربية المشتركة للكهرباء من حيث البنية الأساسية والإطار المؤسسي المقابل**

| مرحلة التطور | التوسع في البنية الأساسية وتجارة الكهرباء | البناء المؤسسي، الإطار القانوني، وطرق اتخاذ القرارات |
|---|---|---|
| **المرحلة الأولى:** سوق انتقالي يُركز على تحديد فرص التجارة والتوسع فيها | تحدد مؤسسات تشغيل نظام نقل الطاقة/ مسهلو السوق فرص التجارة بناء على الأسعار الدولية للوقود | تشكيل أمانة/ سكرتارية |
| | زيادة حجم التجارة المتوقعة بين مجموعة دول الربط الخليجي، ومجموعة الدول للربط الثماني، و مجموعة دول الربط المغاربي العربي | تشكيل لجنة استشارية وتنظيمية عربية مشتركة |
| | تنفيذ التداول وفق عقود ثنائية مباشرة بين المرافق يتم إبرامها بين الدول المجاورة وغير المجاورة | إنشاء لجنة عربية مشتركة تضم المؤسسات العربية لتشغيل نظم نقل الطاقة |
| | تقدم بعض الدول خدمة النقل/ المرور | إنشاء مؤسسة لتشغيل نظم نقل الطاقة/ مُيسر سوق لكل منطقة فرعية [2] |
| | • تنفيذ البنية الأساسية من خلال:<br>• توسيع توليد الطاقة لتلبية الاحتياجات الوطنية والصادرات<br>• استغلال توليد الكهرباء في تلبية فروق | • تطوير ما يلي والتوقيع عليه:<br>• مذكرة تفاهم واتفاقية عامة لتكامل سوق الكهرباء العربية المشتركة<br>• اتفاقية عامة لسوق الكهرباء العربية المشتركة |

[2] لدى هيئة الربط الكهربائي لدول مجلس التعاون الخليجي (GCCIA) العديد من المسؤوليات المقترحة لمؤسسة تشغيل نظم نقل الطاقة/ مُيسر السوق الإقليمي الفرعي، ولكن ليس للكل (على سبيل المثال، لا تنشر هذه الهيئة أسعار السوق)، وبالتالي سيكون من الضروري إدخال بعض التعديلات في مسئولياتها لتتمكن من الاضطلاع بهذا الدور.

| مرحلة التطور | التوسع في البنية الأساسية وتجارة الكهرباء | البناء المؤسسي، الإطار القانوني، وطرق اتخاذ القرارات |
|---|---|---|
| | الطلب الموسمي واليومي لما هو أبعد من حدود الأسواق المحلية<br>• توسيع الربط البيني القائم عبر الحدود بالنسبة لتجارة الجملة في الكهرباء (على سبيل المثال، بين العراق وسوريا، والأردن ومصر، ومصر وليبيا، وليبيا وتونس، والجزائر والمغرب)<br>• تحديث شبكات النقل الوطنية .<br>• ربط دولي إضافي بين كل من: مصر – السعودية، مصر– السودان، موريتانيا– المغرب، السعودية – اليمن | • أكواد الشبكة العربية الموحدة<br>• تنسيق الأساسيات الفنية والاعتمادية للشبكة<br>• توسيع قاعدة البيانات للكهرباء العربية المشتركة لتتضمن معلومات شاملة وحديثة لخطط التوسع لكل دولة وبرامج الاستثمارات والتغيرات التنظيمية<br>• إعداد تعريفا ت نقل الطاقة واعداد مزاد قدرة نقل الطاقة عبر الحدود |
| **المرحلة الثانية:**<br>توسيع السوق الإقليمي الانتقالي مع التركيز على فصل مؤسسات تشغيل نظم نقل الطاقة واستحداث المنافسة بنظام الجملة | • توفير عنصر المنافسة أمام كبار المستهلكين المتصلين بشبكة نقل الطاقة مباشرة<br>• مزيد من العمل بهدف تحسين الاستدامة وتأمين إمداد الطاقة الكهربائية<br>• تسهيل التجارة من خلال مزيد من التعزيز لشبكات النقل والتزامن. ويتم تزامن النظم على مستوى كل مجموعات الربط دون الإقليمية (مجموعتي الربط الخليجي و الربط المغاربي متزامنين بالفعل؛ تزامن كافة مجموعة دول الثماني)<br>• تنسيق الاستثمارات في البنية الأساسية لنقل الطاقة. | • الموافقة على فتح إمدادات الكهرباء عالية الجهد أمام المنافسة والسماح بتحديد التعريفات بالنسبة لكبار المستهلكين بواسطة السوق التنافسي.<br>• فصل مؤسسات تشغيل نظم نقل الطاقة من خلال تفكيك الأسواق الوطنية وإنشاء جهات تنظيمية وطنية مستقلة ومستنيرة.<br>• إنشاء جهة رقابية عربية (تبدأ بدور يتضمن إعداد التقارير والتنسيق وحل المنازعات قبل أن تصبح جهة رقابية تتولى القيام بكامل المهام المنوطة بها).<br>• استبدال اللجنة الإقليمية العربية لتشغيل نظم نقل الطاقة بمؤسسة عربية شاملة تتولى ذلك الأمر ويكون لها مجلس إدارة وهيئة كاملة من الموظفين المنتظمين. |

| مرحلة التطور | التوسع في البنية الأساسية وتجارة الكهرباء | البناء المؤسسي، الإطار القانوني، وطرق اتخاذ القرارات |
|---|---|---|
| | | • مراجعة أدوار الأمانة واللجنة الإقليمية الاستشارية والتنظيمية بما يعكس أدوار المؤسسات الوطنية الجديدة لتشغيل نظم نقل الطاقة والجهات التنظيمية.<br>• تعديل دور المؤسسات شبه الاقليمية لتشغيل نظم نقل الطاقة/مُيسري السوق لتتولى مسئوليات أكثر تتعلق بمهام تشغيل السوق.<br>• تعديل كود الشبكة الإقليمية حسب الحاجة، وعمل مراجعات موسعة في الاتفاقية العامة لسوق الكهرباء العربي المشترك بما يتسع لتجارة تنافسية على مستوى الجملة.<br>• |
| **المرحلة الثالثة:**<br>الوصول إلى السوق الإقليمي النهائي مع التركيز على المنافسة الكاملة مؤسسات تشغيل نظم نقل الطاقة واستحداث المنافسة بنظام الجملة | • تحقيق المنافسة الكاملة على مستوى نظام الجملة مع السماح لكافة كبار المستهلكين وجهات التوزيع/ التوريد حق اختيار المُورِّد.<br>• استحداث أسواق مالية جديدة حسبما تقتضي حاجة المتعاملين في السوق العربي المشترك مثل سوق التوازن القائم على المزايدات " bid-based balancing market "، و سوق اليوم التالي، وسوق التبادل خلال اليوم " intraday market"، وسوق تداول الانبعاثات، الخ.<br>• تشجيع الأسلوب الاقتصادي الكفء (بما يتسق مع أهداف المنافسة والاستدامة و اعتمادية/ تأمين الإمداد). | • الموافقة على فتح السوق أمام المنافسة الكاملة على مستوى نظام الجملة.<br>• تشغيل الأسواق المالية الإضافية (على سبيل المثال، سوق اليوم التالي " day-ahead market) حسبما يحتاج المتعاملون في السوق. العربية المشتركة<br>• استبدال منتدى المؤسسات الوطنية لتشغيل نظم نقل الطاقة/ مُيسرو السوق بمؤسسة تشغيل سوق إقليمي يكون مسئول عن كافة الأسواق المالية الإقليمية الوظيفية التي لم يتم تنفيذها وتشغيلها بواسطة مؤسسات القطاع الخاص.<br>• تسريح الأمانة وإعطاء مسئولية الرقابة الكاملة على السوق العربية المشتركة لمؤسسة تشغيل السوق العربية المشتركة، ومؤسسة تشغيل نظم نقل الطاقة العربية، وجهاز التنظيم العربي، |

| مرحلة التطور | التوسع في البنية الأساسية وتجارة الكهرباء | البناء المؤسسي، الإطار القانوني، وطرق اتخاذ القرارات |
|---|---|---|
| | • إضافة مزيد من التحسين لقدرات نقل الطاقة والتزامن على المستويات الوطنية والدولية، وذلك بالاتساق مع احتياجات السوق العربي المشترك. | على أن تكون الرقابة من قبل المجلس الوزاري العربي للكهرباء.<br>• تعديل وثائق حوكمة السوق العربية المشتركة حسب الحاجة لتتضمن المنافسة الكاملة بنظام الجملة والأسواق المالية المنشأة حديثا.<br>• ضمان أن تكون لدى مؤسسات السوق العربية المشتركة المسئولية الكاملة عن تحديد تعريفات نقل الطاقة وإنفاذ قواعد فنية ومالية موحدة عبر السوق العربية المشتركة. |
| **المرحلة الرابعة:**<br>سوق عربية متكاملة تماما مع التركيز على الربط البيني والمتزامن التام بين شبكات الكهرباء العربية | • الربط الكهربائي المتزامن (أو غير المتزامن) لمجموعات الربط دون الإقليمية الثلاث بما في ذلك البلدان غير الموصلة حاليا بأي من مجموعات الربط دون الإقليمية.<br>• يتم تزامن المنطقة أيضا مع الشبكة الأوروبية لمؤسسات نظم نقل الطاقة الكهربائية (ENTSO–E) والأسواق الأخرى في المنطقة المحيطة.<br>• إتاحة الوصول الكامل إلى شبكة الربط والمنافسة التامة بنظام الجملة مع تواجد مؤسسات سوق عربية مشتركة تمارس وظائفها كاملة وكذا توافر وثائق حوكمة لها. | • إعداد وتنفيذ خطة موحدة لتنمية الطاقة العربية الشاملة (ويمكن أن تتضمن ثلاث خطط لمجموعات الربط دون الإقليمية تتسق مع الخطط الوطنية وتغطي كل من قدرات توليد ونقل الطاقة التقليدية والمتجددة)<br>• إعداد خطة لتزامن (أو عدم تزامن) لمجموعات الربط الثلاث دون الإقليمية مع الشبكة الأوروبية لمؤسسات نظم نقل الطاقة الكهربائية (ENTSO–E) وأسواق الكهرباء الإقليمية في المنطقة المجاورة. |

البحـــث الثاني

# دور شبكات الربط الكهربائي العربي في تعظيم استغلال الطاقات المولدة في وحدات الطاقات المتجددة غير المبرمجة

د. سمير القطب*

*مستشار مهندس، الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي

ورقة مقدمه إلى مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر - «الطاقة والتعاون العربي» - مراكش - المملكة المغربية (1-4 أكتوبر 2018)

## ملخص تنفيذي

شهد أوائل عقد الثمانينات بداية الاهتمام في دراسة الفوائد الفنية والاقتصادية لربط منظومات الكهرباء في الدول العربية، وتلا ذلك في نهاية العقد بداية تنفيذ مشروعي ربط كهربائي بين مصر والأردن، وليبيا وتونس. وتم خلال عقد التسعينات تنفيذ مشاريع ربط بين الأردن وسوريا، ومصر وليبيا وغيرها من مشاريع الربط الكهربائي. وترتبط حالياً المنظومات الكهربائية لـ 15 دولة عربية فيما بينها من خلال ثلاث شبكات مستقلة وهي الشبكة المغاربية وشبكة دول الربط الثمانية، وشبكة دول مجلس التعاون الخليجي.

واستجابة لطلب المجلس الوزاري العربي للكهرباء المنبثق عن جامعة الدول العربية، وافق الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي عام 2010 على تخصيص معونة لتمويل دراسة متكاملة لوضع الاستراتيجية والخطة الرئيسية لتفعيل تبادل الطاقة بين الدول العربية وإنشاء سوق عربية للطاقة وتحديد المزايا الاقتصادية لتصدير الطاقة الكهربائية و/أو الغاز الطبيعي.

وبمشاركة إدارة الطاقة في جامعة الدول العربية وغالبية الدول العربية، اضطلع الصندوق العربي بمهام تنفيذ الدراسة واستخدمت في الدراسة منهجية إيجاد الحل الأنسب لوضع خطط تطوير منظومات التوليد وشبكات النقل في الدول العربية المشاركة، لتلبية توقعات الطلب على الكهرباء للفترة 2012 – 2030، وذلك في ظل وجود حدود لتوفر الغاز الطبيعي فيها، على أن يتم تبادل الطاقة الكهربائية والغاز الطبيعي بالأسعار الاقتصادية الفعلية للطاقة، بعيداً عن التشوهات الناتجة عن استخدام أسعار الطاقة المدعومة. وانتهت الدراسة في آخر عام 2013 حيث توصلت إلى تحديد السيناريو المفضل، والمكون من إضافة 7 خطوط جديدة للربط الكهربائي، وإضافة أنابيب لنقل الغاز بين كل من ليبيا ومصر، والعراق والكويت، وإنشاء ميناء لاستيراد الغاز المسال في البحرين.

ومنذ حوالي 5 سنوات، أولت غالبية الدول العربية اهتماماً متزايداً بالطاقات المتجددة، وخصوصاً بطاقة الرياح والطاقة الشمسية، وتزامن ذلك الاهتمام مع تغييرات هيكلية طرأت على أسعار الوقود الأحفوري من جهة، وانخفاض كبير في تكاليف وحدات التوليد بالرياح والطاقة الشمسية من جهة أخرى، فارتفع إجمالي القدرات المتجددة في بعض الدول العربية بحوالي 150% في الفترة 2012 – 2015.

ونظراً للطبيعة العشوائية للطاقات المتجددة غير المبرمجة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية، ولتأثيرها على المنظومات الكهربائية، والذي يقتضي أحياناً تقليص إنتاجها للمحافظة على أداء وتوازن الشبكات، وافق الصندوق العربي على إجراء دراسة تكميلية[1] لدراسة الربط العربي الكهربائي الشامل تهدف إلى تقدير منافع شبكات الربط العربي في تعظيم استغلال الطاقات المولدة في وحدات الطاقة المتجددة غير المبرمجة، من خلال خفض تقليص (curtailment) إنتاج تلك الوحدات، والذي ينتج عادة عن تفاعل عوامل الإنتاج العشوائية للطاقة المتجددة، مع الظروف التشغيلية لمنظومة التوليد وشبكة النقل وانخفاض الحمل الكهربائي، وذلك باستخدام منهجية محاكاة مونت كارلو.

وشملت الدراسة مجموعتين من الدول العربية، تتكون المجموعة الأولى من المغرب والجزائر وتونس، بينما تضم المجموعة الثانية مصر والأردن. وتم اختيار عام 2025 لإجراء محاكاة لأداء المنظومات الكهربائية فيها. وارتكزت المحاكاة على بيانات المنظومات التي تم جمعها سابقاً لدراسة الربط العربي الكهربائي الشامل. وشملت الدراسة سيناريو عدد 2 لنمو قدرات وحدات الطاقات المتجددة. وبينت الدراسة أنه في سيناريو النمو المتوقع لقدرات الطاقات المتجددة( Inertial Scenario)، والذي يمثل حالة نمو معتدل لوحدات الطاقة المتجددة، يبقى إنتاج الطاقات المتجددة في كل دولة في الحدود اللازمة لتلبية الحمل الكهربائي في تلك الدولة، دون احتمال تقليص إنتاج الطاقة المتجددة غير المبرمجة. أما في سيناريو البرنامج السياسي(Policy Scenario)، حيث يتوقع أن ترتفع نسبة قدرات الطاقة المتجددة إلى حوالي 35% من قدرة التوليد في منظومة الكهرباء لعدة دول عربية، توصلت الدراسة إلى تحديد الظروف التي يزيد فيها احتمال تقليص إنتاج الطاقات المتجددة و متوسط كميات الطاقة المقلصة في حالة فصل خطوط الربط الكهربائي مع دول الجوار, أما في حالة وضع خطوط الربط في الخدمة فإنه من الممكن أن ترسل قدرات الطاقة المتجددة الزائدة عن احتياجات الحمل الكهربائي إلى دول الجوار، مما يخفض احتمال تقليص إنتاجها في هذه الدول. وبينت الدراسة إلى أن متوسط كميات خفض تقليص الطاقات المتجددة ترتبط بصافي سعة النقل في خطوط الربط، وأن الدول ذات النسبة الأعلى من الطاقات المتجددة مثل المغرب والجزائر ومصر ستكون هي الدول الأكثر استفادة من تخفيض متوسط تقليص إنتاج الطاقات المتجددة فيها. وللوصول إلى تقديرات دقيقة لفوائد خفض التقليص في ظل وجود عدد كبير من المتغيرات العشوائية تم تكرار المحاكاة لـ 400 مرة، تعادل إجراء المحاكاة لفترة 400 عام. واستناداً إلى النتائج التي توصلت إليها هذه الدراسة، فإنه من المتوقع أن تلعب خطوط وشبكات الربط العربي

[1] أعد الاستشاري الإيطالي CESI الدراسة التكميلية لدراسة الربط الكهربائي الشامل خلال الفترة 2017/12 – 2018/10.

دوراً محورياً في تعظيم منافع الطاقات المتجددة وذلك في ظل توجه عدد كبير من الدول العربية مثل الأردن والمغرب ودولة الإمارات العربية المتحدة، ومصر والمملكة العربية السعودية وتونس إلى وضع برامج طموحة لزيادة قدرات الطاقات المتجددة.

## مقدمة

تمثل الطاقة الكهربائية أحد أهم عناصر النمو الاقتصادي والاجتماعي في المجتمعات الحديثة لذا أولت حكومات الدول العربية اهتماماً كبيراً لدعم قطاع الكهرباء، سواءً بإنشاء محطات توليد جديدة، و/أو تطوير وتوسعة شبكتي النقل والتوزيع. وامتدت اهتمامات الدول العربية إلى خفض تكاليف خدمات الكهرباء من خلال تحسين كفاءة الإنتاج، باستخدام وحدات توليد كبيرة تعمل بالدورة المركبة، وخفض الفاقد في الشبكات من خلال استخدام توترات فائقة لرفع سعة شبكة النقل وخفض الفاقد الفني فيها، بالإضافة للعمل على خفض الفاقد الفني والتجاري في شبكات التوزيع.

وتمكنت منظومات الكهرباء العربية في عام 2017 من تلبية الحمل الأقصى الذي بلغ إجماليه حوالي 212.2 ج.و. من خلال منظومات التوليد التي بلغ إجمالي القدرة المركبة فيها حوالي 264.1 ج.و.، والتي قامت بإنتاج حوالي 1014.2 ج.و.س. من الطاقة الكهربائية. وبلغ إجمالي الاستهلاك حوالي 888.2 ج.و.س.، بينما بلغ استهلاك المساعدات والفاقد حوالي 126 ج.و.س.، أي بنسبة 12.4% من الطاقة المولدة.

**الجدول رقم (1)**

**بيانات أساسية عن قطاع الكهرباء في الدول العربية[2]**

| | 2004 | 2008 | 2012 | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|
| إجمالي قدرات التوليد المركبة (ج.و.) | 123.5 | 159.8 | 204.3 | 260.3 | 264.1 |
| الحمل الأقصى (ج.و.) | 99.0 | 129 | 175.5 | 213.6 | 212.2 |
| إجمالي الطاقة المولدة (ألف ج.و.س.) | 526.5 | 669.0 | 936.2 | 1002.3 | 1,014.2 |
| إجمالي الطاقة المستهلكة (ألف ج.و.س.) | 477.5 | 607.1 | 755.5 | 880.0 | 888.2 |

[2] النشرات الاحصائية للاتحاد العربي للكهرباء، http://auptde.org/Publications.aspx?lang=en&CID=36

وتميزت الفترة 2004 – 2012 بسرعة نمو قدرة منظومة التوليد العربية حيث بلغ معدل النمو السنوي فيها حوالي 6.5% وهو معدل مرتفع، إلا أن هذا المعدل انخفض إلى حوالي 5.3% في الفترة 2012 – 2017. وتمتلك كل من المملكة العربية السعودية وجمهورية مصر العربية أكبر مجموعتي توليد حيث تبلغ قدرة التوليد فيهما على التوالي 57.3 ج.و. و45.3 ج.و. ، شكلت حوالي 39.8% من القدرة المركبة في الدول العربية.

تمتلك دول مجلس التعاون الخليجي أكبر منظومة توليد مرتبطة فيما بينها، إذ يبلغ إجمالي قدرة التوليد فيها حوالي 126.3 ج.و.، يمثل حوالي 47.8% من إجمالي قدرات منظومة التوليد العربية. وتشكل قدرات التوليد في مصر وليبيا والأردن والعراق وسوريا وفلسطين ثاني أكبر مجموعة مرتبطة تمثل حوالي 37.6% من إجمالي قدرات التوليد في الدول العربية. وتعتبر دول المغرب العربي تونس والجزائر والمغرب أصغر مجموعة مرتبطة حيث يبلغ إجمالي القدرات فيها حوالي 33.5 ج.و. تمثل حوالي 12.7 من إجمالي القدرات المركبة، إلا أنها مرتبطة بالشبكة الأوروبية من خلال الربط المغربي الاسباني عبر مضيق جبل طارق.

وقد حققت مشاريع الربط الكهربائي العربي، التي ساهم الصندوق العربي في تمويل غالبيتها، عدداً من المنافع الفنية والاقتصادية. وتتمثل أهم المنافع الفنية في زيادة اعتمادية الشبكات المرتبطة وتحسين أدائها، فضلاً عن دورها في تزويد الدول بالطاقة الكهربائية في حالات النقص المزمن و/أو الطارئ بالقدرة الكهربائية. ومن أجل زيادة الاستفادة من خطوط الربط القائمة، وبالخصوص التبادل التجاري للطاقة الكهربائية بين الدول، استجاب الصندوق العربي في عام 2010 لطلب المجلس الوزاري العربي للكهرباء بتخصيص معونة لتمويل دراسة للربط الكهربائي الشامل بين الدول العربية واستغلال الغاز الطبيعي. وأوصت هذه الدراسة بإضافة أو تقوية سبعة خطوط ربط كهربائية جديدة بين الدول العربية وإضافة أنبوبين لنقل الغاز الطبيعي، وانشاء محطة واحدة لاستقبال الغاز الطبيعي المسال وتغويزه .

وبهدف تنويع مصادر الطاقة، قامت عدة دول عربية وخصوصاً الدول غير المصدرة للنفط والغاز الطبيعي مثل المملكة المغربية والمملكة الأردنية الهاشمية، بتنفيذ عدة مشاريع توليد بالطاقات المتجددة الشمسية وبطاقة الرياح. وفي الأعوام الخمس الماضية أعلنت عدد من الدول العربية عن خطط طموحة لإنشاء مشاريع توليد بالطاقات المتجددة مقرونة بسياسات وبرامج لتحفيز إنشاء تلك المشاريع بمشاركة القطاع الخاص، كما في دولة الإمارات العربية المتحدة، وجمهورية مصر العربية والجمهورية التونسية. ومن المتوقع أن تشكل قدرات التوليد بالطاقات المتجددة حوالي 20% من إجمالي قدرات التوليد في الدول العربية بحلول عام 2030.

ونظراً للطبيعة العشـوائية للتوليد من وحدات الطاقات المتجددة، والتفاوت الزمني بين ذروة إنتاج الطاقات المتجددة والأحمال الكهربائية، فإن الاسـتغلال الأمثل لتلك الوحدات يسـتدعي توفير شروط تشغيلية مناسبة في منظومة التوليد، واحتياطيات التوليد، بالإضافة إلى شروط أخرى مثل توفير إمكانية تخزين الطاقة الكهربائية. أما في حال عدم توفر تلك الشـروط، فإن الحفاظ على التوازن الآني بين القـدرة المولـدة والحمـل الكهربـائي يسـتـدعي تقليص إنتـاج القـدرات المتجددة(curtailment)، مما يخفض الفوائد الاقتصـادية المرجوة منها. وتبين من واقع الخبرات المكتسـبة في تشـغيل واسـتغلال وحدات الطاقات المتجددة في دول غرب أوروبا والولايات المتحدة، لفترة زمنية تزيد عن عشـر سـنوات، بأن شـبكات الربط الكهربائي مع دول الجوار توفر إمكانية تصريف القدرة المتجددة الزائدة عن الحاجة إلى دول الجوار، مما يسهم في خفض تقليص إنتاج الطاقات المتجددة.

وتتنـاول هذه الورقة نتائج دراسة تكميلية لدراسة الربط الكهربائي الشامل، التي انتهت عام 2013، لتقدير منافع شـبكات الربط العربي في خفض احتمال تقليص انتاج وحدات الطاقات المتجددة وتعظيم اسـتغلالها، وذلك في مجموعتين مرتبطتين من الدول العربية. تتكون المجموعة الأولى من دول المغرب العربي، المغرب والجزائـر وتونس، بينما تتكون المجموعة الثانية من مصر والأردن. واستخدمت في الدراسة التكميلية منهجية المحاكـاة الإحصـائية مونت كـارلو (Monte Carlo).

ويتضـمن الجزء الأول من الورقة خلاصـة عن نتائج دراسـة جدوى الربط الكهربائي العربي الشـامل وتقييم اسـتغلال الغاز الطبيعي في تصـدير الكهرباء. ويقدم الجزء الثاني نبذة عن برامج تطوير قدرات الطاقات المتجددة في كل من المغرب والجزائر وتونس، ومصـر والأردن، حتى عام 2030، بالإضـافة إلى تعريف الخصـائص الديناميكية للطاقات المتجددة وتأثير إنتاجها على منظومات الكهرباء. ويتناول الجزء الثالث دراسـة تقدير منافع شـبكات الربط الكهربائي العربي في استغلال الطاقات المتجددة. ويقدم الجزء الرابع نتائج محاكاة مونت كارلو، والظروف التي يتم فيها خفض احتمال تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة، ومتوسط كميات الطاقة المقلصة.

## الجزء الأول: دراسة جدوى الربط الكهربائي العربي الشامل وتقييم استغلال الغاز الطبيعي في تصدير الكهرباء[3]

تتباين تكلفة التوليد بين الدول العربية نتيجة لعدة عوامل أبرزها وجود غاز طبيعي بكميات وفيرة في بعض الدول وعدم وجوده في دول أخرى، وعليه ومن أجل الاستفادة من خطوط الربط الكهربائي القائمة، ووضع استراتيجية متكاملة لتطوير منظومات التوليد والنقل في الدول العربية، استجاب الصندوق العربي في عام 2010 لطلب المجلس الوزاري العربي للكهرباء بتخصيص معونة لتمويل دراسة للربط الكهربائي الشامل بين الدول العربية واستغلال الغاز الطبيعي، وتم تكليف ائتلاف استشاري متخصص بإعداد تلك الدراسة.

وصف الدراسة وأهدافها والمستفيدون منها: تتمثل الأهداف الرئيسية ونطاق الدراسة في وضع استراتيجية وخطة رئيسيـــة لتطوير تجارة الطاقة الكهربـــــائية بين الدول العربية للفترة 2012– 2030، وتحديد المفاضلة بين تصدير الكهرباء و/أو الغاز الطبيعي؛ ولقد كان الهدف هو دراسة الخطط التي وضعتها الدول العربية لتطوير منظومات توليد القدرة الكهربائية ودراسة شبكات الربط الكهربائي، وذلك بهدف معرفة ملائمتهما لتزويد الكهرباء وتوفير كميات الغاز اللازمة بأسعار اقتصادية لتحقيق أهداف سوق عربية لتجارة الكهرباء.

استندت الدراسة إلى مجموعة شاملة من البيانات، تم جمعها في المرحلة الأولى من الدراسة بواسطة ضباط اتصال من هيئات الكهرباء والغاز في 16 دولة عربية. تتعلق تلك البيانات بتوليد الكهرباء وإنتاج الغاز الطبيعي الوطني، وخطط تطوير نقل الغاز الطبيعي والكهرباء. ولقد تخللت تلك المرحلة أنشطة متعددة للتحقق من دقة البيانات وتوحيدها، وشملت عدة زيارات ميدانية مع ضباط الاتصال من جانب، بالإضافة إلى وضع فرضيات معقولة مستندة إلى خبرة الاستشاري للاستعاضة عن البيانات غير المتوفرة.

وانطلقت الدراسة من قاعدة البيانات التي تم جمعها، والتي تضمنت معلومات حديثة لخطط واقعية لتطوير منظومة توليد الكهرباء، وبيانات استهلاك الكهرباء، وبيانات عن مشاريع الربط الكهربائي القائمة، والجاري إنشاؤها أو المخطط لها، بالإضافة إلى احتوائها على معلومات عن البنية التحتية الحالية للغاز الطبيعي ومعلومات حول احتياطيات الغاز الطبيعي في المنطقة. وشملت قاعدة

[3] الخلاصة التنفيذية للدراسة متاحة على موقع الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي، ويمكن تحميلها باللغات العربية والإنجليزية والفرنسية من خلال الرابط: http://www.arabfund.org/Default.aspx?pageId=395&mid=227

البيانات التي تم جمعها خلال المرحلة الأولى للدراسة البيانات الأساسية لتنفيذ الأنشطة اللاحقة في الدراسة.

سيناريوهات الربط التي تمت دراستها

تم في الدراسة إعداد نموذج لمنظومة توليد الكهرباء العربية مع شبكات الربط الكهربائي ونقل الغاز الطبيعي، مع الأخذ بعين الاعتبار وحدات التوليد وشبكات الربط القائمة والمنظورة مستقبلاً. وتضمن النموذج 1,450 محطة حرارية بتقنيات مختلفة، و74 محطة كهرومائية، و180 محطة للتوليد بالطاقات المتجددة، و39 شبكة ربط كهربائية و 5 بُنى تحتية عابرة حدود من الغاز الطبيعي. ونفذت عمليات المحاكاة للتوصل إلى خطة تطوير المنظومة ذات التكلفة الأدنى، وهي مجموع تكاليف الاستثمار وتكاليف تشغيل منظومة الكهرباء العربية.

ووضع الاستشاري خمسة سيناريوهات رئيسية واثنين إضافيين لدراسة حساسية النتائج. وتضمنت السيناريوهات الرئيسية ما يلي:

**سيناريو الاستمرار في نهج العمل المعتاد (BAU) Business As Usual**: وهو بمثابة نهج وطني لتحقيق الاكتفاء الذاتي في موارد الطاقة الكهربائية على أساس إستراتيجية استخدام الموارد الوطنية في المقام الأول والحفاظ على المستويات الحالية لاستهلاك الغاز الطبيعي لتوليد الطاقة.

**سيناريو الربط الكهربائي (IC Scenario):** الذي يمثل تطوير منظومة الكهرباء بأقل التكاليف الاستثمارية والتشغيلية، بحيث يتم تبادل الطاقة والقدرة باستخدام شبكات الربط القائمة والمقررة، مع الإبقاء على الحد الأعلى لاستهلاك الغاز.

**سيناريو الربط الكهربائي المدعم (ICr Scenario)**: وهو مماثل لسيناريو الربط الكهربائي (IC)، باستثناء إضافة خطوط ربط كهربائية لتدعيم شبكات الربط القائمة، مع التركيز أيضاً على التجارة الكهربائية الإقليمية، دون التوسع في استغلال موارد الغاز الطبيعي.

**سيناريو ربط الغاز الطبيعي (NG Scenario)**: يمثل الخطة ذات التكلفة الدنيا لتطوير منظومة التوليد، مع الإبقاء على الحد الأعلى لاستهلاك الغاز الطبيعي المتاح في كل دولة، إضافة للاستثمار في موارد البنى التحتية عبر الحدود (خطوط الأنابيب/ أو الغاز المسال) للغاز الطبيعي، مع الاستفادة من شبكات الربط الكهربائي القائمة.

واكتملت الدراسة في نهاية عام 2013، وتضمنت أهم نتائجها التوصية باختيار "السيناريو المفضل" (ICr + NG Scenario) الذي تم التوصل إليه بعد اجراء 11 عملية محاكاة مختلفة مع شبكات متعددة لربط الغاز تم دمجها بشكل تتابعي بإدخال مشاريع الغاز الطبيعي الواحد تلو الآخر على سيناريو الكهرباء المدعم (ICr) للوصول إلى منظومة الربط الكهربائي وأنابيب الغاز الأكثر توافقاً. ويمثل السيناريو المفضل الحل ذي التكلفة الدنيا لإجمالي التكاليف الاستثمارية والتشغيلية لتطوير منظومة التوليد وإنشاء شبكات الربط الكهربائي والغاز الطبيعي في ظل الحد الأقصى للكميات المتاحة من الغاز الطبيعي. ويتكون السيناريو المفضل من مشاريع الخطوط الكهربائية والمنشآت الغازية التالية:

الخطوط الكهربائية:

| م | خطوط ربط جديدة أو تدعيم لخطوط قائمة | التكاليف الرأسمالية | طول شبكة الربط | فترة التنفيذ |
|---|---|---|---|---|
| | | مليون دولار أمريكي | كم | شهر |
| 1 | ليبيا (طبرق) - مصر (سلوم) BTB + AC 500 OHL كيلو فولت | 267.45 | 165 | 50 |
| 2 | تونس (بوشمة ) ليبيا (الرويس) AC OHL 400 كيلو فولت | 112.00 | 280 | 57 |
| 3 | الدائرة الثانية لمصر (طابا) - الرابط الاردن (العقبة) 400 كيلو فولت AC | 61.42 | 24 | 49 |
| 4 | الدائرة الثانية من الأردن (عمان الشمالية) - سوريا (دير علي) 400 AC OHL كيلو فولت | 60.41 | 145 | 52 |
| 5 | العراق (الفاو) - الكويت (الصبية) AC دائرة مزدوجة 400 OHL كيلو فولت | 60.015 | 110 | 46 |
| 6 | المملكة العربية السعودية (القريات) – الأردن (قطرانة) BTB + AC دائرة مزدوجة OHL 400 كيلو فولت | 134.44 | 127 | 50 |

| م | خطوط ربط جديدة أو تدعيم لخطوط قائمة | التكاليف الرأسمالية | طول شبكة الربط | فترة التنفيذ |
|---|---|---|---|---|
| | | مليون دولار أمريكي | كم | شهر |
| 7 | المملكة العربية السعودية (الكدمي) - اليمن (بني حُشَيش) BTB + AC دائرة مزدوجة OHL 400كيلو فولت | 383.27 | 416 | 75 |

المنشآت الغازية:

- خط أنابيب الغاز الطبيعي العابر للحدود الذي يربط ليبيا ومصر في عام 2018.
- خط أنابيب الغاز الطبيعي العابر للحدود الذي يربط العراق والكويت في عام 2017.
- محطة الغاز الطبيعي المسال في البحرين في عام 2018.

الخلاصة والتوصيات

ولتحقيق المنافع التي تم تحديدها في "السيناريو المفضل" والتحليلات اللاحقة، توصلت الدراسة إلى الإجراءات والتوصيات التالية:

- **توصيات للتعزيزات الضرورية للشبكات الداخلية:** إنه من الضروري قيام بعض الدول العربية، التي تحتاج إلى تعزيز شبكاتها الداخلية، بإعداد خطط رئيسية وطنية (أو إقليمية) واضحة لتوسيع تلك الشبكات، ووضع مواصفات تقنية كاملة ووثائق استدراج العروض لتلك التعزيزات مما يسهم في الإسراع في تنفيذ مشاريع النقل المطلوبة.

- **توصيات للإسراع في بداية تنفيذ مختلف المشاريع**: لتجنب التأخير في صدور قرار الموافقة على تنفيذ مشاريع البنية التحتية للغاز الطبيعي والربط الكهربائي المنظورة في السيناريو المفضل، فإنه من الأهمية الإسراع في اتخاذ الإجراءات اللازمة لإعداد خطط تمويل المشاريع، وإرساء طرق استغلالها، وإعداد المواصفات الفنية، وإجراء دراسة الآثار البيئية، وفي النهاية إعداد وثائق استدراج العروض.

- **توصيات لكيفية الوصول بمشاريع الغاز الطبيعي للمرحلة القادمة:** أكدت الدراسة على أهمية توضيح ملكية مشاريع الغاز الجديدة، وضرورة إجراء دراسات جدوى اقتصادية معمقة لتأكيد التقديرات في سوق الغاز، وموارد الغاز، وتحديد المواقع ومسار الأنابيب والتكاليف. كذلك أوصت الدراسة بوضع مخطط مديري (Master Plan) للغاز الطبيعي في ليبيا.

وأوصت الدراسة بتأسيس منظمات تخطيط إقليمية لشبكات النقل على اعتبارها حاجة مصيرية للدول، وحتى تندمج بالنهاية في منظمة عربية لهيئات مشغلي نظم النقل (TSOs)، ومجهزة بقواعد البيانات الضرورية، وتتبع الطرق الملائمة للتعامل مع الظروف المتغيرة في ظل نمو الاهتمام في الدول العربية في سوق مشتركة للكهرباء. وبينت الدراسة أهمية أن يتم التوافق بين الدول العربية على التحديث الدوري، كل عامين، لخطط تطوير منظومتي التوليد والنقل، بناءً على سيناريوهات متماسكة ومعايير تحدد مدى ملائمة منظومتي التوليد والنقل والحاجة لتوسيعها.

## الجزء الثاني: خطط تطوير الطاقات المتجددة في مجموعة من الدول العربية وتأثير الإنتاج غير المبرمج على منظومات الكهرباء

### خطط تطوير الطاقات المتجددة

أولت غالبية الدول العربية منذ حوالي 5 سنوات اهتماماً متزايداً بالطاقات المتجددة، وخصوصاً بطاقة الرياح، والطاقة الشمسية، وتزامن ذلك الاهتمام مع تغييرات هيكلية طرأت على أسعار الوقود الأحفوري من جهة، وانخفاض كبير في تكاليف وحدات التوليد بالرياح والطاقة الشمسية من جهة أخرى، حيث ارتفع إجمالي القدرات المتجددة من حوالي 1200 ميجاوات عام 2012 إلى حوالي 3000 ميجاوات عام 2015 أي بزيادة تبلغ حوالي 150%، (IRENA, 2016). ووضعت غالبية الدول خطط طموحة لزيادة نسبة الطاقات المتجددة في تراكيب منظومات التوليد فيها والمتوقع أن تبلغ حوالي 20% من القدرة المركبة الإجمالية بحلول عام 2030. وأقرنت تلك الدول الخطط بإجراءات إدارية لتفعيل فرص استثمارية في منظومات الطاقات المتجددة. ومن تلك الإجراءات طرح عدد من مشاريع التوليد بطاقة الرياح والطاقة الشمسية بنظام تعريفة التغذية (Feed – in – Tariffs) حيث خصصت مثلاً كل من جمهورية مصر العربية والمملكة الأردنية الهاشمية مواقع لتنفيذ مشاريع التوليد بالطاقات المتجددة المرتبطة بشبكة النقل، كما هو مبين أدناه.

كذلك طرحت الدول مشاريع كبيرة في مناقصات عالمية كما في دولة الإمارات العربية المتحدة، ساهمت في تحقيق أسعار بيع قياسية للطاقة الكهربائية. وتهدف غالبية الدول إلى إشراك القطاع الخاص في تنفيذ وتشغيل وتملك مشاريع الطاقات المتجددة لتبيع إنتاجها لهيئات الكهرباء على أساس اتفاقيات بيع القدرة (Power Purchasing Agreement). ويتضمن الجدول رقم 2 خلاصة عن خطط الدول العربية لمشروعات الطاقات المتجددة (IRENA, 2016) و(APICORP, 2018).

**الجدول رقم 2 : خطط تطوير قدرات الطاقات المتجددة في الدول العربية**

| | خطط تطوير قدرات الطاقات المتجددة | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الرياح | الخلايا الشمسية | الشمسية الحرارية المركزة | الكتلة الحيوية | الحرارية الأرضية | المجموع | | أفق الخطة |
| | ميجاوات | ميجاوات | ميجاوات | ميجاوات | ميجاوات | ميجاوات | % | |
| الجزائر | 1,010 | 3,000 | - | 360 | 5 | 4,375 | 15 | 2020 |
| | 5,010 | 13,575 | 2,000 | 1,000 | 15 | 21,600 | 37[3]/27[2] | 2030 |
| البحرين | - | - | - | - | - | 250 | 5[3] | 2030 |
| جيبوتي | 300 | 200 | | - | 500 | 1,000 | 100[2] | 2025 |
| مصر | 7,200 | 2,300 + | - | - | - | 9,500 | 20[2] | 2022 |
| العراق | - | 300 | - | - | - | 300 | 1[2] | 2020 |
| الأردن | 800 | 800 | 100 | 50 | - | 1,750 | 10[4] | 2020 |
| الكويت | 700 | 4,600 | 5,700 | - | - | 11,000 | 15[2] | 2030 |
| لبنان | 400 | 150-100 | | - | - | 950-900[5] | 12[2] | 2020 |
| ليبيا | 600 | 344 | 125 | - | - | 1,069 | 7[2] | 2020 |
| | 1,000 | 844 | 375 | - | - | 2,219 | 10[2] | 2025 |
| موريتانيا | 30 | 30 | - | - | - | 60 | 20[2] | 2020 |
| المغرب | 2,000 | 2,000 | | - | - | 6,000[6] | 42[3] | 2020 |
| | 4,200 | 4,560 | | - | - | 10,090 | 52[3] | 2030 |
| فلسطين | 44 | 45 | 20 | 21 | - | 130 | 10[2] | 2020 |
| قطر | - | - | - | - | - | 1,800 | 20[3] | 2030 |
| العربية السعودية | | | | | | 9,500 | 10[9] | 2023 |
| | 9,000 | 16,000 | 25,000 | 3,000[7] | 1,000 | 54,000 | 30[3] | 2040 |
| السودان | 680 | 667 | 50 | 68 | 54 | 1,582[8] | 11[3] | 2020 |
| | 1,000 | 1,000 | 100 | - | - | ~2,100 | 20[3] | 2030 |
| سوريا | 1,000 | 2,000 | 1,300 | 250 | - | 4,550 | 30 | 2030 |
| تونس | 1,755 | 1,510 | 460 | - | - | 3,725 | 30[3] | 2030 |
| الإمارات أبو ظبي | - | - | - | - | - | - | 7[3] | 2020 |
| الإمارات دبي | - | 5,000 | - | - | - | 5,000 | 25[2] | 2030 |
| اليمن | 400 | 8.25 | 100 | 6 | 200 | 714.25 | 15[3] | 2025 |

[1] بما فيها الكهرومائية [2] توليد الكهرباء [3] القدرة المركبة [4] الطاقة الأولية [5] بما فيها 400 ميجاوات كهرومائية
[6] بما فيها 2000 ميجاوات كهرومائية [7] طاقة النفايات [8] بما فيها 63 ميجاوات كهرومائية إضافية
[9] إجمالي الطاقات المتجددة عام 2023 (APICORP, 2018)

المغرب: نظراً لشح مصادر الطاقة الأحفورية، لجأت الحكومة إلى عدة مصادر لتوليد الطاقة الكهربائية لتلبية الطلب على استهلاك الكهرباء الذي بلغ متوسط ارتفاعه السنوي حوالي 6.5%، منها الفحم، وزيت الوقود الثقيل والغاز الطبيعي. كما قامت بإنشاء محطات توليد كهرومائية وشمسية وهوائية، فضلاً عن استغلال خطي الربط الكهربائي مع إسبانيا لاستجرار حوالي 4.3 ت.و.س. سنوياً. وفي عام 2015 تمت تلبية حوالي 13.5% من الطلب على الكهرباء من خلال القدرات المتجددة شكلت حوالي 34% من القدرة المركبة موزعة، على التوالي، بنسب 22 و2 و15% على قدرات كهرومائية، وشمسية وهوائية. وتعمل الحكومة على إنشاء محطات توليد بالطاقات المتجددة حيث من المتوقع زيادة قدرة التوليد الكهرومائي من حوالي 1770 م.و. عام 2015 إلى حوالي 2900 م.و. بحلول عام 2030. وتعمل بالاشتراك مع القطاع الخاص على رفع قدرات التوليد بالطاقة الشمسية وقدرة الرياح من حوالي 661 م.و. و1018 م.و. عام 2015 إلى حوالي 4800 م.و. و5000 م.و. على التوالي بحلول عام 2030. ونجحت الحكومة المغربية في توفير التمويل اللازم لتلك المشاريع من عدد من مؤسسات التمويل الأوروبية والدولية.

الجزائر: تضمنت خطط الحكومة الجزائرية، عام 2011، إضافة حوالي 11.8 ج.و. قدرات توليد هوائية وشمسية بحلول عام 2030، كانت ستشكل حوالي 41 % من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة في ذلك العام. إلا أن الحكومة الجزائرية قامت مؤخراً بتعديل برامج تطوير قدرات التوليد بحيث تشمل إضافة محطات توليد شمسية بنظام الخلايا الفوتوفلطية، بواقع 450 م.و. كل عام خلال الفترة 2022 – 2030. وعليه، فمن المتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات التوليد من المحطات التي تعمل على الطاقات المتجددة، عام 2030، حوالي 4632 م.و.، منه حوالي 4394 م.و. قدرات توليد من محطات توليد شمسية، وحوالي 228 م.و. قدرات توليد كهرومائية، وحوالي 10 م.و. قدرات توليد من محطات توليد تعمل بطاقة الرياح، بحيث يشكل إجمالي قدرة التوليد من محطات الطاقة المتجددة حوالي 15.3 % من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة بحلول عام 2030.

تونس: وضعت الحكومة التونسية في نهاية عام 2009 خططاً للاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة لتلبية حوالي 4% من إجمالي احتياجات البلاد من الطاقة بحلول عام 2014، وأن يتم ذلك بمشاركة القطاع الخاص. إلا أن القطاع الخاص لم يقم بإنشاء أية مشاريع للتوليد باستخدام الطاقات المتجددة إلى الآن، لعدد من الأسباب منها عدم إدراج مواقع لإنشاء محطات الطاقة المتجددة على الشبكة الكهربائية، وعدم إعطاء المحطات التي يقوم القطاع الخاص بإنشائها أية أفضلية عن الربط بالشبكة القومية. ومن أجل تسهيل تلك العقبات، قامت الحكومة التونسية، في نهاية عام 2016، باستخدام خطة عمل للطاقة المتجددة تهدف إلى ان يتم توليد 37 % من الطاقة الكهربائية في البلاد من مصادر الطاقة المتجددة، وذلك من خلال إضافة 1000 م.و. خلال الفترة 2018 – 2020، و1250 م.و. خلال الفترة 2021 – 2030. وعليه، من المتوقع أن ترتفع نسبة قدرات التوليد الهوائية، من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة التونسية، عام 2030، إلى حوالي 22.2 % من تلك القدرات، وأن تبلغ حوالي 14.1 % بالنسبة لقدرات التوليد الشمسية، وأقل من 1 % لقدرات التوليد الكهرومائية.

الأردن: نظراً لعدم وجود أية مصادر للوقود الأحفوري في الأردن، عملت الحكومة على تنويع مصادر الطاقة، ومن تلك المصادر الطاقة المتجددة. وقامت في عام 2010 بإصدار قانون الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة الذي ينص أن تبلغ قدرة التوليد المركبة من محطات الطاقة المتجددة 10% من إجمالي قدرات التوليد بحلول عام 2030. وتعتبر مزرعة الرياح في الطفيلة بقدرة 117 م.و. أول مشروع توليد بالطاقات الجديدة تدخلها الحكومة في الخدمة في عام 2015. ويعمل القطاع الخاص على إنشاء مشاريع الطاقات المتجددة، في مواقع مخصصة من الحكومة، بالتعاون مع مؤسسات التمويل الدولية، حيث شهد عام 2016 دخول مزرعة الملك حسين الهوائية بقدرة 80 م.و. في الخدمة، بالإضافة لثلاث محطات توليد شمسية فوتوفلطية بقدرة إجمالية تبلغ 180 م.و. ومن المتوقع أن تدخل محطة القويرة الفوتوفلطية بقدرة 103 م.و. في الخدمة هذا العام، وأن تشهد الفترة 2019 – 2021 دخول 7 مزارع أخرى للرياح و12 محطة

توليد شمسية أخرى في الخدمة. وستشكل مشاريع الطاقات المتجددة حوالي 30% من إجمالي قدرات التوليد بحلول عام 2030.

مصر: تقوم هيئة تنمية واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر، التي تأسست عام 1986، بالإشراف على تنفيذ المشاريع الحكومية لتوليد الكهرباء بطاقة الرياح والطاقة الشمسية الفوتوفلطية. وتشمل الخطة للفترة 2018 – 2022 إضافة قدرات توليد تبلغ حوالي 1420 م.و. في جبل الزيت وخليج السويس والغردقة وكوم أمبو، سيتم تمويها بقروض ميسرة من مؤسسات تمويل إقليمية ودولية. وأصدرت الحكومة المصرية في أكتوبر 2014 قراراً لإنشاء محطات توليد مرتبطة بالشبكة وتعمل بنظام تعريفة التغذية (Feed – in - Tariff)، وخصصت الحكومة أراضي لهذا الغرض في بنبان التي تبعد حوالي 80 كم شمال مدينة أسوان، وفي الزعفرانة على خليج السويس. ومن المتوقع أن يضيف القطاع الخاص محطات توليد شمسية بقدرة إجمالية تبلغ حوالي 1700 م.و. خلال الفترة 2018 – 2022. ويجري الإعداد لمشاريع بالطاقة الشمسية الفوتوفلطية والرياح بقدرة إجمالية تبلغ حوالي 2400 م.و. سيتم تنفيذها بطريقة البناء، التملك، والتشغيل (BOO). ويتوقع أن يبلغ إجمالي وحدات التوليد بالطاقة الشمسية والرياح بحلول عام 2025 حوالي 6400 م.و. تمثل حوالي 10.6% من قدرة التوليد في ذلك العام.

**الخصائص الديناميكية للطاقات المتجددة، وتأثيرها على منحنيات الأحمال، وتوازن الشبكة، والمتطلبات الفنية لحسن استغلالها**

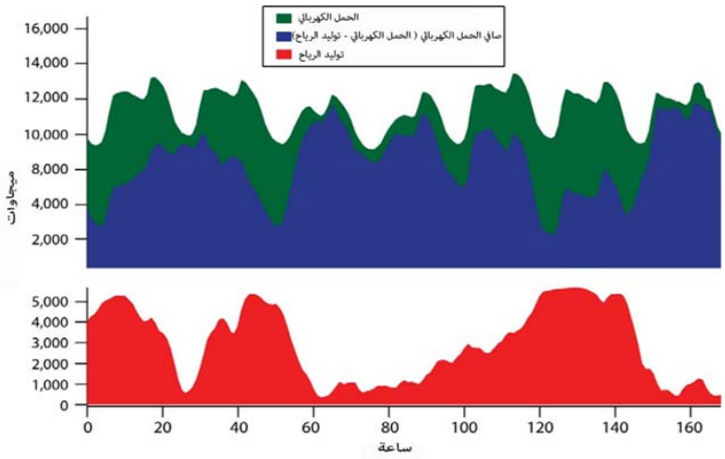
الخصائص الديناميكية للطاقات المتجددة: تعرف الطاقات المتجددة على أنها الطاقة المسخرة من مصادر متجددة، والتي يتم تجديدها بشكل دوري، سواءً كان المصدر الإشعاع الشمسي، أو الرياح، أو الأمطار، أو الأمواج أو المد والجزر، أو الطاقة الحرارية الأرضية. ومن أهم خصائص تلك الطاقات هي تغيرها الزمني أو تقطعها (intermittency)، بشكل شبه دوري في حالة الإشعاع الشمسي، والمد والجزر، أو بشكل عشوائي كما في حالة الرياح والأمواج. ولذلك فإن إنتاج غالبية مصادر الطاقات المتجددة هو متغير (variable generation, VG) وغير مبرمج (non-programable)، وغير مؤكد. وتصنف قدرات التوليد بالطاقات المتجددة على أنها قدرات ليست تحت التحكم المباشر لمشغل الشبكة الكهربائية (non-dispatchable).

ويظهر الشكل[4] رقم (1) تأثير التغير الكبير في إنتاج وحدات التوليد بطاقة الرياح على صافي الحمل الكهربائي، حيث يتبين أن سرعة تغير الأحمال اليومية الفعلية خلال حوالي 8 أيام لا تتعدى 750 م.و./ الساعة، إلا أن التغير الكبير والسريع في إنتاج وحدات التوليد بالرياح يتسبب بزيادة كبيرة في سرعة تغير صافي الأحمال حيث يرتفع إلى حوالي 1100 م.و./ الساعة.

[4] الشكل مستنبط من تقرير للهيئة الوطنية للطاقات المتجددة في الولايات المتحدة الأمريكية (NREL) ويظهر التأثير العشوائي لإنتاج محطات التوليد بطاقة الرياح على صافي الحمل الكهربائي خلال ثمانية أيام.

**الشكل رقم 1**

**تأثير قدرة التوليد بطاقة الرياح على صافي الأحمال الكهربائية**

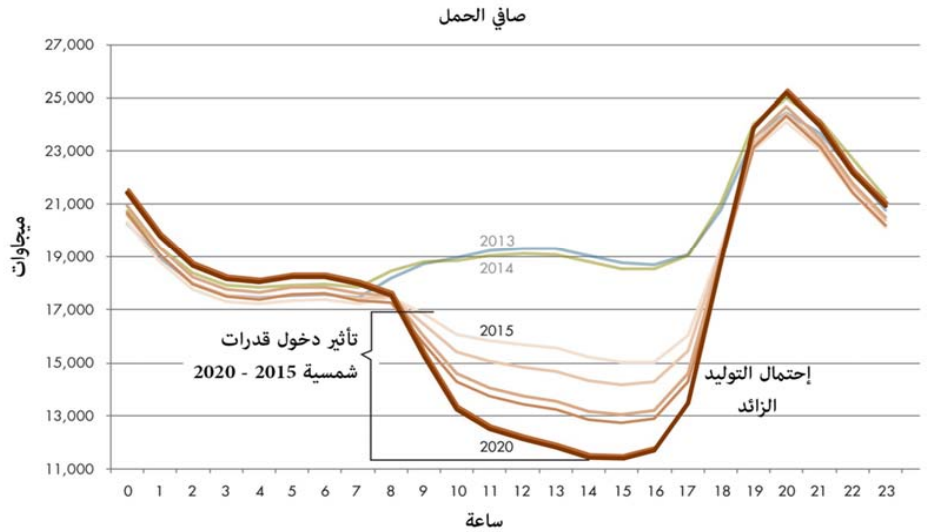



أما إنتاج الخلايا الشمسية فيتسبب بانخفاض كبير وسريع في صافي الأحمال في بداية اليوم كما هو مبين في الشكل[5] رقم (2) الذي يظهر تأثير زيادة القدرة المركبة الشمسية خلال الفترة 2013-2020 على صافي الحمل الكهربائي في أحد أيام الربيع، في ولاية كاليفورنيا الأمريكية. وعلى سبيل المثال يتوقع أن ينخفض صافي الحمل الساعة التاسعة صباحاً بحوالي 4500 ميجاوات خلال ساعتين مما قد يتسبب بحصول زيادة في التوليد عن حاجة الشبكة (over-generation). ولتجنب ذلك يتم خفض الإنتاج من الوحدات الحرارية وبسرعة كبيرة، إلا أن هذا الإجراء قد لا يكون ممكناً في بعض الحالات بسبب عدم توفر الاحتياطي السالب كما هو بين لاحقاً. وفي حوالي الساعة الخامسة مساءً يتراجع إنتاج المحطات الشمسية بشكل سريع، ويتزامن ذلك تقريباً مع بداية ساعات الذروة المسائية مما يؤدي إلى ارتفاع صافي الحمل الكهربائي بحوالي 12500 ميجاوات خلال حوالي 2.5 ساعة. ومن جديد فإن ذلك يستدعي إدخال وحدات توليد بديلة وبسرعة تحميل عالية. ويأخذ منحنى الحمل الصافي في الشبكات ذات قدرات التوليد الشمسي شكل البطة (Duck Curve)، حيث ينخفض صافي الحمل بنسبة كبيرة في وسط اليوم. ويزيد هذا الانخفاض كلما زادت قدرات التوليد للوحدات الشمسية بالنسبة لإجمالي قدرة الوحدات الحرارية على الشبكة.

[5] اعد الشكل الهيئة المستقلة المشغلة لنظام النقل في ولاية كاليفورنيا (California Independent System Operator, CAISO) في عام 2013 لاستشراف تأثير زيادة قدرات التوليد الشمسية الموزعة على أسطح المنشآت والأبنية والمنازل.

**الشكل رقم 2**

**تأثير ارتفاع قدرات التوليد الشمسية على صافي الحمل الكهربائي**




ونظراً للتغير السريع وغير المتوقع في القدرة المولدة بالطاقات المتجددة، فإن الحفاظ على توازن الشبكة يستدعي استجابة وحدات التوليد الاحتياطية بالسرعة الكافية سواءً برفع أو خفض القدرة المولدة. وتعتبر سرعة استجابة وحدات التوليد لتغيير القدرة المولدة خاصية مهمة من خواص وحدات التوليد والمعروفة بسرعة نسبة التحميل م.و./د (Ramp Rate, MW/min). وتتميز عادة وحدات التوليد الغازية بسرعة نسبة التحميل فيها مما يجعلها الوحدات المفضلة لتوفير الاحتياطي في الشبكات، بينما تنخفض نسبياً سرعة التحميل في الوحدات البخارية نظراً للعطالة الحرارية الكبيرة للغلايات، وخصوصاً في وحدات التوليد البخاري بالفحم.

<u>الاستغلال الأمثل للطاقات المتجددة:</u> منذ بداية الألفية لجأ عدد كبير من الدول إلى الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة لعدة أسباب منها خفض الاعتماد على الوقود الأحفوري المستورد، أو لتنويع مصادر الطاقة، أو للاستفادة من الفرق بين تكلفة الكهرباء من المصادر الحرارية، والطاقات المتجددة. إلا أن الخبرات المكتسبة من تشغيل وحدات الطاقات المتجددة على نطاق واسع في الدول الأوروبية، وبعض الولايات الأمريكية والصين أظهرت بأن الاستغلال الأمثل لتلك الطاقات يتأثر بعدة عوامل جغرافية وتشغيلية وبنيوية، كما هو مبين أدناه:

1- التفاوت الزمني بين ذروة إنتاج الطاقات المتجددة والأحمال الكهربائية: في أغلب الأحيان تتأثر اقتصاديات منظومات الكهرباء ذات النسبة المرتفعة من قدرات التوليد بالطاقات المتجددة من عدم تزامن إنتاج الوحدات المتجددة مثل الوحدات الشمسية مع فترات الحمل الأقصى والتي تقع في أغلب البلدان في بداية المساء. كذلك فإن التوليد بطاقات الرياح يزيد بشكل كبير خلال الليل، وهي الفترة ذات الحمل الأدنى. ومن المعروف أنه بالإمكان تعظيم الاستفادة من الطاقات المتجددة خلال فترة الأحمال القصوى المسائية إذا توفرت إمكانية تخزين الطاقة الكهربائية، حيث تخزن الطاقة المولدة من الإشعاع الشمسي في النهار لتسهم بتزويد الحمل الكهربائي في المساء. كذلك يمكن تخزين القدرة المولدة بطاقة الرياح ليلاً لاستغلالها بتزويد الأحمال خلال النهار. ويبقى استخدام أنظمة تخزين الكهرباء في غالبية الدول محدوداً. ويعود السبب في ذلك إلى ارتفاع تكاليف تقنيات وأنظمة تخزين الكهرباء باستخدام التفاعل الكيماوي (البطاريات) أو الطاقة الحرارية(تخزين الحرارة بالمحلول الملحي). وتستفيد بعض الدول مثل المغرب من توفر مصادر مياه كافية وتضاريس جغرافية ملائمة لإنشاء نظام الضخ والتخزين ( Pumped Storage)، حيث تستغل القدرة الكهربائية المولدة من الطاقات المتجددة خارج أوقات الذروة لضخ المياه باستخدام تربينات عكسية (Reversible Turbines) إلى خزان مياه مرتفع خلال فترة انخفاض الحمل. وخلال ساعات الذروة تستخدم المياه في خزان المياه لتوليد الكهرباء. وتنظر جمهورية مصر العربية حالياً في إمكانية إنشاء مشروع ضخ وتخزين بقدرة 2400 م.و. كجزء من خطتها لرفع نسبة وحدات الطاقة المتجددة إلى حوالي 20% بحلول عام 2022.

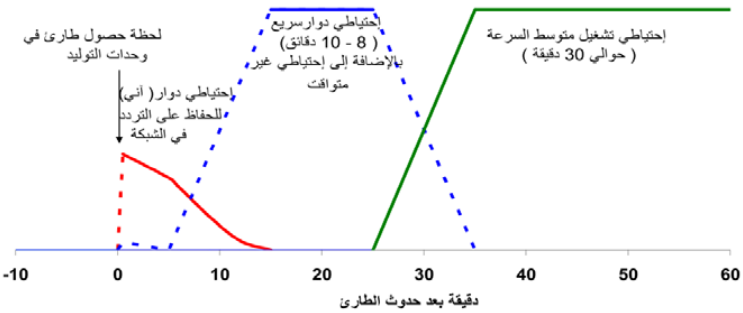
2- المواقع الجغرافية النائية لمحطات الطاقات المتجددة: إن الأصل في اختيار الموقع الجغرافي المناسب لإنشاء محطة توليد بالطاقات المتجددة هو توفر مصادر الطاقة المتجددة في الموقع من جهة، والقيمة الاقتصادية للموقع من جهة أخرى. ففي حالة الرياح، يتم اختيار المواقع التي يرتفع فيها معدل سرعة الرياح في السنة عن السرعة الملائمة لتوليد الكهرباء. ومن واقع الخبرات المكتسبة لعدد كبير من الدول، ومن خلال سجلات ودراسات عن سرعات الرياح، تبين أن غالبية المواقع المناسبة لإنشاء محطات التوليد بطاقة الرياح تتركز في مناطق نائية، وعلى سفوح الجبال، أو في البحر، وبعيداً عن شبكات الطرق الرئيسية، وشبكات نقل الكهرباء. كذلك في حالة المحطات الشمسية، يتم اختيار مواقعها في مناطق نائية حيث تنخفض القيمة الاقتصادية للأرض في تلك المواقع ويرتفع الإشعاع الشمسي على مدار السنة، وذلك لأن محطات الخلايا الشمسية تتطلب مساحة كبيرة تقدر بحوالي 1 هكتار/ م.و. ذروة (MW Peak). ويتطلب الاستغلال الأنسب للطاقات المتجددة عادة تعزيز شبكات النقل القائمة أو إنشاء خطوط نقل جديدة لتوصيل إنتاجها إلى مراكز الأحمال، مما يزيد من التكاليف الاجمالية لتلك المحطات، وينعكس سلباً على الجدوى الاقتصادية لتلك المشاريع. وتلجأ بعض الهيئات

من أجل خفض التكاليف الرأسمالية اللازمة لمد خطوط نقل جديدة، إلى ربط محطات الطاقات المتجددة على خطوط نقل قائمة، مستفيدة بذلك من السعة غير المستغلة في خطوط النقل خلال ساعات الأحمال المنخفضة. وفي هذه الحالة تعطى أولوية منخفضة لنقل إنتاج تلك المحطات في أوقات الذروة والازدحام (Congestion) مما يؤدي إلى تقليص إنتاج تلك المحطات (Curtailment).

3- احتياطيات التوليد: يمثل احتياطي التوليد في الشبكة الكهربائية الأداة الأساسية والرئيسية للحفاظ على توازن الشبكة الآني في حال حدوث خلل طارئ وخروج وحدة توليد أو أكثر من الخدمة، أو للاستجابة لأي زيادة غير متوقعة في الحمل الكهربائي. ويعرف الاحتياطي عادةً بسرعة استجابته للتغيرات في القدرات المولدة والحمل الكهربائي في الشبكة. ويبين الشكل رقم 3 ثلاثة أنواع من احتياطيات التوليد وأهمها الاحتياطي الدوار، الذي يتحكم فيه منظم سرعة التربينات (governor). أما الاحتياطي السريع فهو يتكون بشكل رئيسي من وحدات غازية التي تتمتع بخاصية سرعة التحميل، ووحدات كهرومائية. ويتكون الاحتياطي متوسط السرعة من وحدات بخارية متواقته. وتختلف تعريفات الاحتياطي وسرعاتها بين هيئات الكهرباء باختلاف تكوين منظومات التوليد فيها من وحدات نووية وبالفحم وبخارية ووحدات دورة مركبة وغازية وكهرومائية. إلا أن دور الاحتياطي يختلف في المنظومات التي تحتوي على وحدات توليد بالطاقات المتجددة التي تستدعي عادة وجود احتياطي سلبي يسمح بخفض القدرة الحرارية المولدة، أو إخراجها من الخدمة، في حالة ارتفاع توليد الطاقات المتجددة، كما هي الحالة خلال ساعات الصباح حيث ترتفع القدرات المولدة من الطاقة الشمسية (الشكل رقم 2). ويحدد قيمة الاحتياطي السلبي في منظومة التوليد عادةً الحد الأدنى التشغيلي والاقتصادي للوحدات البخارية والغازية، الذي لا يمكن تخطيه للحفاظ على أمان تشغيل الوحدات والمنظومة الكهربائية. وتواجه هيئات تشغيل الشبكات صعوبات ناتجة عن ارتفاع توليد الطاقات المتجددة خلال ساعات انخفاض الطلب على الحمل مما يضطرها إلى خفض قدرات التوليد الحرارية إلى الحد الأدنى المسموح به. وإذا لم يكن الاحتياطي السلبي كافياً، أو لأسباب تتعلق ببنية الشبكة، كما هو مبين في الفقرة التالية، يتم بعد ذلك تقليص إنتاج محطات الطاقات المتجددة (Curtailment)، مما يخفض المنفعة الاقتصادية من التوليد من الطاقات المتجددة. وللتغلب على احتمال تقليص الإنتاج تلجأ هيئات تشغيل نظم النقل (TSO) إلى تصدير القدرات الزائدة عن احتياجاتها إلى الدول المجاورة، أو في الولايات المتحدة إلى الولايات المجاورة، في الحالات التي تتوفر لديها شبكات الربط بالجوار.

**الشكل رقم 3**

**أنواع وسرعات احتياطيات التوليد**




4- بنية الشبكة: تشكل بنية شبكة النقل (Topology)، وتوترات وأطوال الخطوط، ومواقع محطات التوليد والتحويل، وبعدها عن مراكز الأحمال أحد العوامل الرئيسية المؤثرة على الاستغلال الأمثل للطاقات المتجددة. فعلي سبيل المثال، وكما أشير إليه في الفقرة أعلاه، هناك حالات تشغيلية ينخفض فيها صافي الحمل، ويتوفر في الشبكة احتياطي سلبي ولكن هذا الاحتياطي يتوفر في محطة توليد حرارية في منطقة بعيدة نسبياً عن مركز الأحمال الرئيسي، ويتعذر خفض قدرة التوليد في هذه المحطة لأن ذلك قد يؤدي إلى خفض التوتر في المنطقة، و/ أو عدم تزويدها بالقدرة الردية اللازمة، وفي هذه الحالة يبقى الحل الوحيد لاستمرار عمل الشبكة هو تقليص إنتاج وحدات التوليد المتغير. وتبرز مثل هذه الحالات التشغيلية تأثير بنية شبكة النقل على أداء منظومة توليد تضم نسبة كبيرة من وحدات التوليد المتغير غير المبرمج، مثل وحدات الطاقات المتجددة، والتي يمكن أن تشكل سبباً رئيسياً لتقليص إنتاجها، إذا لم تتوفر إمكانية إرسال الطاقة المولدة الزائدة عن احتياجات الحمل الكهربائي، من خلال شبكات الربط إلى الدول المجاورة.

ويتضح من الفقرات أعلاه أن العوامل الجغرافية والتشغيلية والبنيوية لمنظومة التوليد والنقل، قد تتفاعل جميعها مع الطبيعة العشوائية لإنتاج الطاقات المتجددة، وبالخصوص طاقة الرياح مما يحد من الاستغلال الأمثل للطاقات المتجددة. وبالرغم من الجهود المبذولة لتعظيم الاستفادة من إنتاج الطاقة المتجددة باختيار مواقع مناسبة للمحطات، وتطوير شبكة النقل، وتوفير الاحتياطيات اللازمة، إلا أنه تبين من واقع خبرات عدد كبير من هيئات التشغيل وعلى مدى عدة سنوات، أن وضع الشبكة التشغيلي قد يقتضي في بعض الحالات تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة، ما لم تتوفر إمكانية إرسال الطاقة الفائضة عن احتياج الشبكة إلى دول الجوار.

## الجزء الثالث: دراســة تقدير منافع شــبكات الربط الكهربائي العربي في اســتغلال الطاقات المتجددة

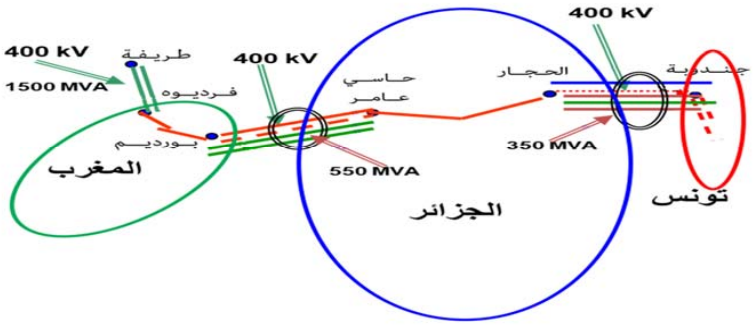
كما هو معروف يمر أي مشــروع من مشــاريع محطات الطاقات المتجددة بعدة دراســات فنية لتحديد كميات الانتاج المتوقعة ســنويا، ولدراســة الخصــائص الديناميكية لمصــدر الطاقة المتجدد في موقع المشــروع المقترح. ويلي ذلك دراســات فنية واقتصــادية لتحديد طبيعة تفاعل المشــروع مع منظومة التوليد، والحمل الكهربائي وبنية شــبكة النقل، ومن ثم يتم تقدير المنافع الاقتصــادية لإنتاج الطاقة المتجددة. ونظراً للطبيعة العشــوائية للطاقات المتجددة، ولاحتمال ظهور عوامل تشــغيلية تحد من منافعها، انصبت الجهود الأكاديمية والبحثية منذ حوالي بداية الألفية على إجراء الدراسات الرياضية و الإحصائية لتطوير نماذج رياضية (mathematical models) لإنتاج الطاقات المتجددة من خلال تقدير دالة الكثافة الاحتمالية لمصــادر الطاقات المتجددة (Probability Density Function) (Leite, P., et-al 2006). واســتخدمت تلك النماذج في برامج محاكاة لتقدير متوســط المنافع الاقتصــادية، ومتوســط كميات التقليص المحتملة في ظل احتمالية وجود تفاعلات بين انتاج وحدات الطاقات المتجددة وظروف منظومة التوليد وشبكة النقل. وتعتبر طريقة محاكاة مونت كارلو ( Monte Carlo Simulation) إحدى أفضل الطرق لدراسة تأثير عوامل عشوائية على سلوك أو انتاج نظام معين ، وهي تمثل مجموعة كبيرة من الخوارزميات الحســابية (algorithms) التي تعتمد على أخذ أعداد كبيرة من العينات العشــوائية (random sampling)، ومن خلال محاكاة عمل النظام لفترات تشغيل افتراضية تمتد لمئات السنين، وبتطبيق القانون الرياضي للأرقام الكبيرة ( Law of Large Numbers)، والاســتقراء الاحصــائي (Statistical Inference) يتم تقدير متوســط أداء النظام(Kroese, D.P., et-al, 2014)، و (Anderson 2009)

**هدف الدراسة**: تهدف هذه الدراسة إلى تقدير منافع شبكات الربط العربي في تعظيم استغلال الطاقات المولدة في وحدات الطاقة المتجددة غير المبرمجة، من خلال خفض متوسط تقليص إنتاج تلك الوحدات (curtailment) الناتج عن تفاعل عوامل الانتاج العشــوائية للطاقة المتجددة، مع الظروف التشــغيلية لمنظومة التوليد وشبكة النقل والحمل الكهربائي، وذلك باستخدام محاكاة مونت كارلو.

**إطار الدراســة:** تتركز الدراســة على مجموعتين من الدول العربية اللتين تم ربط شــبكات نقل الكهرباء فيهما، وهما:

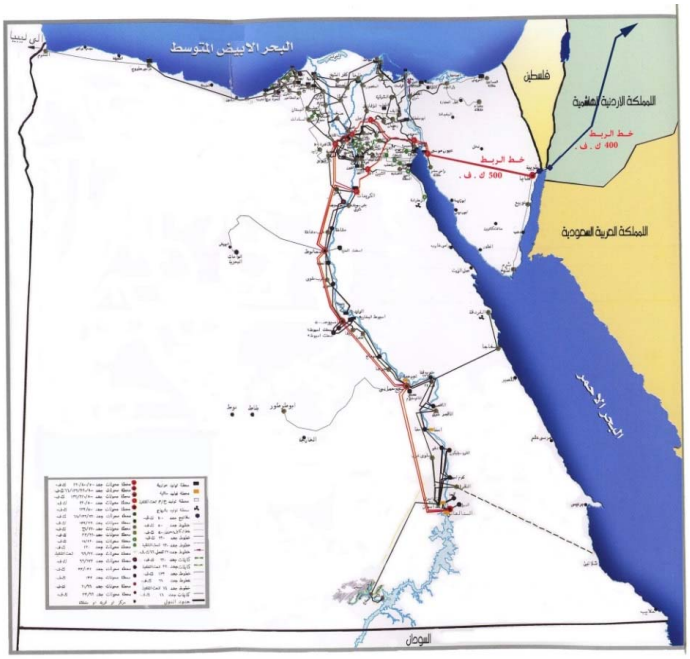
1- المجموعة الأولى: المغرب والجزائر وتونس (الشكل رقم 4).

الشكل رقم (4). خطوط الربط في المجموعة الأولى




2- المجموعة الثانية: الأردن ومصر(الشكل رقم 5).

الشكل رقم( 5). خط الربط الكهربائي للمجموعة الثانية عبر صحراء سيناء




منهجية الدراسة: تتمحور منهجية الدراسة حول استخدام محاكاه مونت كارلو لتقدير متوسط تقليص انتاج الطاقات المتجددة في منظومات الكهرباء في الدول المختارة من خلال اجراء المحاكاة لحالتين، كما هو مبين أدناه:

1- الحالة الأولى: تتم محاكاة أداء منظومة الكهرباء في الدول المشمولة في البحث بافتراض فصل شبكات الربط الكهربائي مع الدول المجاورة. وتجرى المحاكاة لفترة عام كامل، حيث يؤخذ بعين الاعتبار إنتاج وتكاليف وحدات التوليد الحرارية، وبرامج عملها، وأوقات خروجها من الخدمة المبرمجة والطارئة، والإنتاج المتوقع لوحدات الطاقات المتجددة الذي يتم استشرافه من خلال نماذج رياضية واحصائية لأداء وحدات التوليد بطاقة الرياح، والطاقة الشمسية.

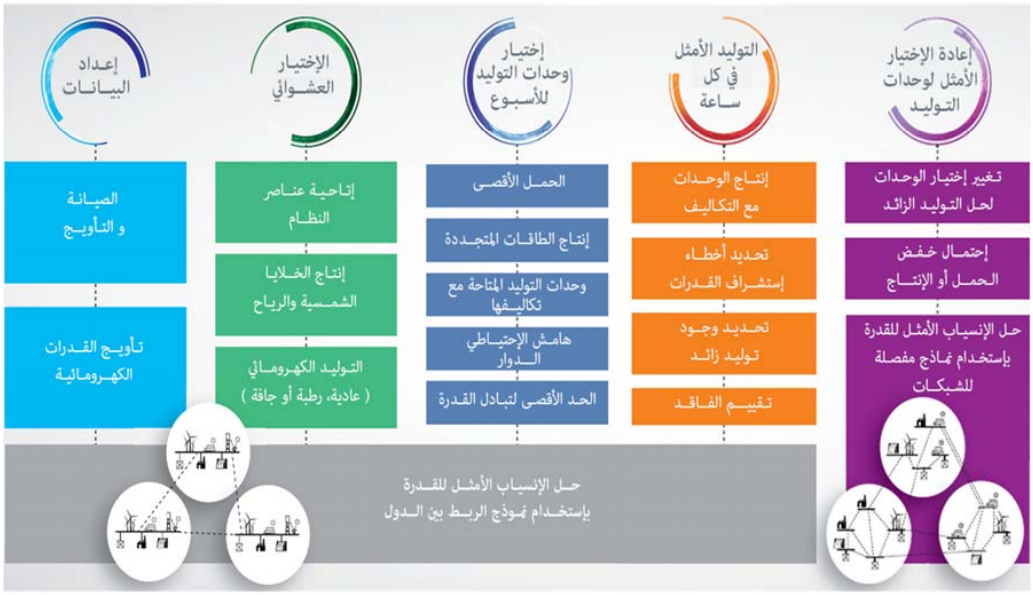
وتتوصل المحاكاة إلى تقدير إجمالي الطاقة المولدة سنوياً من جميع مصادر التوليد الحرارية والطاقات المتجددة المبرمجة (التوليد الكهرومائي)، والطاقات المستهلكة لتلبية الأحمال الكهربائية، والاحتياجات الفنية للشبكة (ancillary services)، ومتوسط إنتاج الطاقات المتجددة غير المبرمجة التي تم تقليصها بسبب الظروف التشغيلية لمنظومة التوليد وشبكة النقل والأحمال الكهربائية.

2- الحالة الثانية: تتم محاكاة أداء منظومة الكهرباء تماماً كما في الحالة الأولى، باستثناء عدم فصل شبكات الربط الكهربائي مع الدول المجاورة، حيث تسهم شبكات الربط في خفض احتمال تقليص إنتاج الطاقات المتجددة غير المبرمجة من خلال إرسال جزء من هذه الطاقة إلى دول الجوار، وتتوصل المحاكاة في هذه الحالة إلى تقدير متوسط إنتاج الطاقات المتجددة غير المبرمجة التي تم تقليصها بسبب الظروف التشغيلية لمنظومة التوليد وشبكة النقل والأحمال الكهربائية.

وبعد الانتهاء من إجراء المحاكاة في الحالتين الأولى والثانية، يقدر متوسط خفض تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة غير المبرمجة من خلال حساب الفرق في الإنتاج الفعلي لتلك الوحدات في الحالتين الأولى والثانية.

وتم إجراء المحاكاة باستخدام برمجية (Grid Reliability and Adequacy Risk Evaluation) GRARE (GRARE-2018). وتتيح البرمجية المذكورة الأخذ بعين الاعتبار الظروف التشغيلية من إتاحية وتكاليف وحدات التوليد الحرارية، والطبيعة العشوائية لتوليد وحدات الطاقات المتجددة غير المبرمجة، فضلا عن الطبيعة العشوائية للأحمال الكهربائية. وتعمل برمجية المحاكاة لاختيار الانسياب الأمثل للأحمال (optimal load flow) في شبكات الدول المرتبطة وذلك من خلال قيام البرمجية بإيجاد الانسياب الأمثل لكل ساعة باستخدام النماذج الرياضية التفصيلية لبنية شبكات النقل (الشكل رقم 6 ).

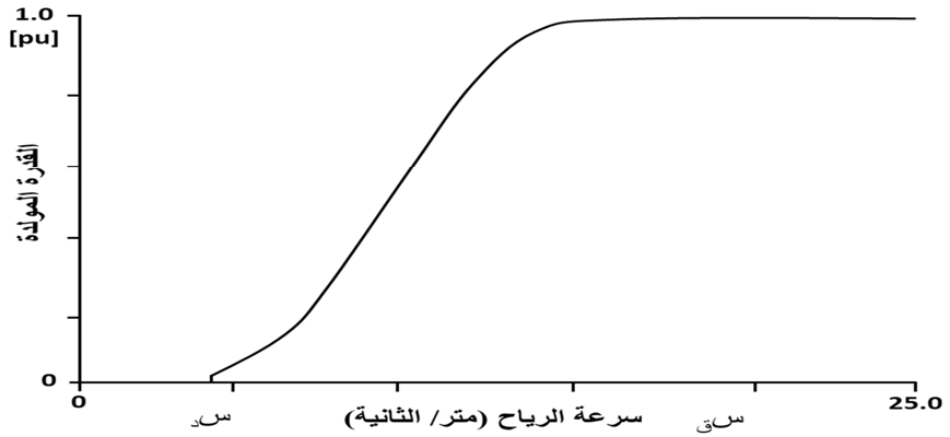
الشكل رقم 6. نموذج محاكاة مونت كارلو لشبكات الربط الكهربائي GRARE




النموذج الرياضي لإنتاج وحدات الطاقة المتجددة: تعتبر النمذجة الرياضية الخطوة الأولى والأهم في تطوير محاكاة مونت كارلو. وقد تم نمذجة إنتاج وحدات الطاقة المتجددة بالطاقة الشمسية، وبطاقة الرياح بسلاسل زمنية (time series) تم استنباط خصائصها من سجلات حقلية، تاريخية، أو من دراسات إحصائية لمواقع الوحدات.

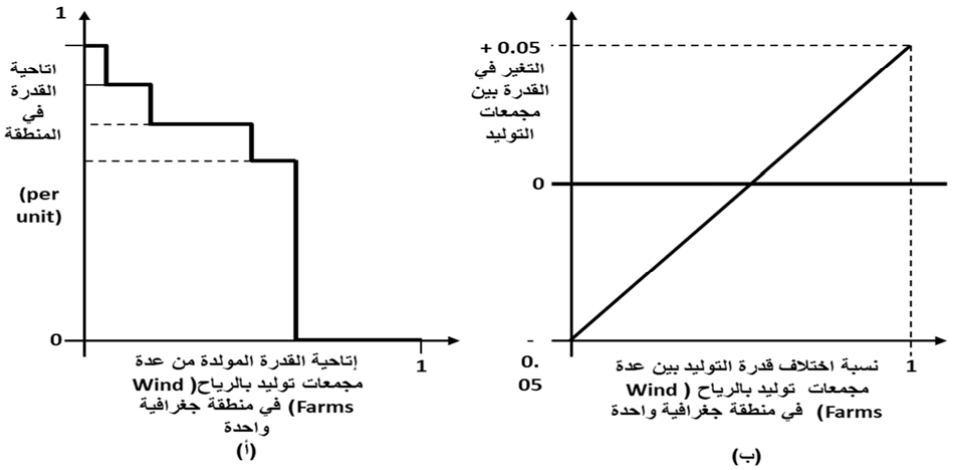
نموذج إنتاج وحدات الرياح: بينت الأبحاث (Leite, et-al 2006) أن سرعة الرياح على مدار أسابيع السنة تتسق مع دالة توزيع وايبول من الدرجة الثانية (second order Weibull distribution). ويحصل تغييرات كبيرة نسبياً في سرعة الرياح خلال الأسبوع الواحد، ويتغير متوسط سرعة الرياح الأسبوعي مع تغير مواسم السنة. ويبين الشكل (رقم 7) طبيعة العلاقة بين القدرة المولدة في وحدة التوليد بالرياح مع سرعة الرياح، حيث يمكن تمييز السرعة الأدنى والقصوى لعمل الوحدة (Valente, et-al 2008). وتتوقف الوحدة عن توليد الكهرباء إذا كانت سرعة الريح دون السرعة الدنيا (س د)، بينما يتم التحكم بزاوية شفرات الوحدة (pitch angle) إذا زادت سرعة الرياح عن السرعة القصوى (س ق) حتى لا تتخطى القدرة المولدة القدرة الإسمية للوحدة.

الشكل رقم (7): نسبة القدرة المولدة من القدرة الاسمية في وحدة التوليد بالرياح



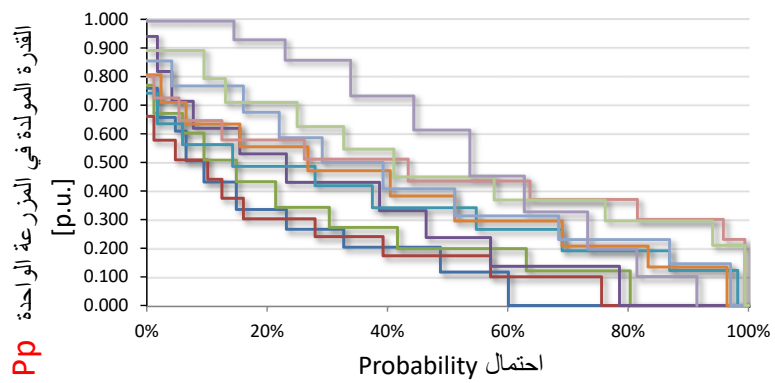

كذلك بينت الأبحاث عن عدم وجود ارتباط (no-correlation) بين القدرة المولدة في مجمعات التوليد بالرياح (wind farms) التي تقع في منطقة جغرافية واحدة. ولهدف إجراء محاكاة مونت كارلو تم تحديد أسابيع نمطية خلال السنة، تعرف فيها قدرة التوليد في الأسبوع بمتوسط القدرة المولدة (mean) وتباينها (variance). ويمثل الشـــكل ( رقم 8 ) التوزيع التراكمي (cumulative distribution) لإتاحية القدرة المولدة في منطقة واحدة. وتم افتراض أن القدرة المولدة في كل مجمع توليد بالرياح هي مستقلة إحصـائياً (Statistically Independent) عن القدرات المولدة في باقي المجمعات في منطقة جغرافية واحدة. كذلك تم افتراض أن نسـبة الاختلاف في القدرة المولدة بين مجمع رياح وأخر في نفس المنطقة الجغرافية هي معرفة إحصـــائياً بتوزيع منتظم (uniform distribution) ضـــمن المجال $\pm$ 0.05 وحدة مئوية (pu).

الشكل (رقم 8): مثال على التوزيع التراكمي ( cumulative distribution) لإتاحية القدرة المولدة في منطقة جغرافية واحدة ونسبة اختلاف قدرة التوليد بين المجمعات (Wind Farms) في منطقة جغرافية واحدة




ولتقدير السلاسل الزمنية للقدرة المولدة بطاقة الرياح في جمهورية مصر العربية والأردن فقد تم تمثيل القدرة المولدة خلال أسبوع بعشرة أسابيع نمطية كما هو مبين في الشكل (رقم 9).

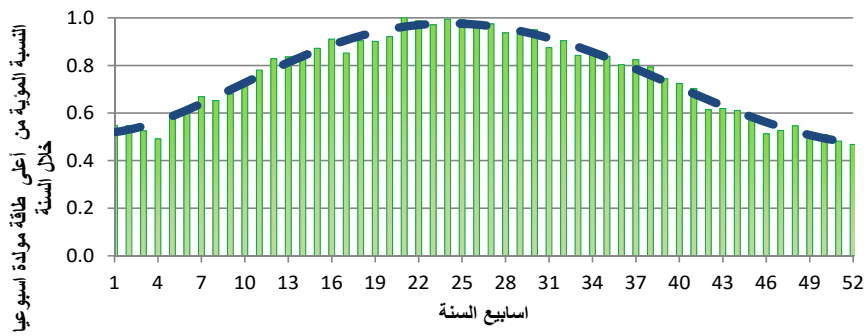
الشكل (رقم 9)التوزيع التراكمي للقدرة المولدة في عشرة أسابيع نمطية خلال العام الواحد في مصر والأردن



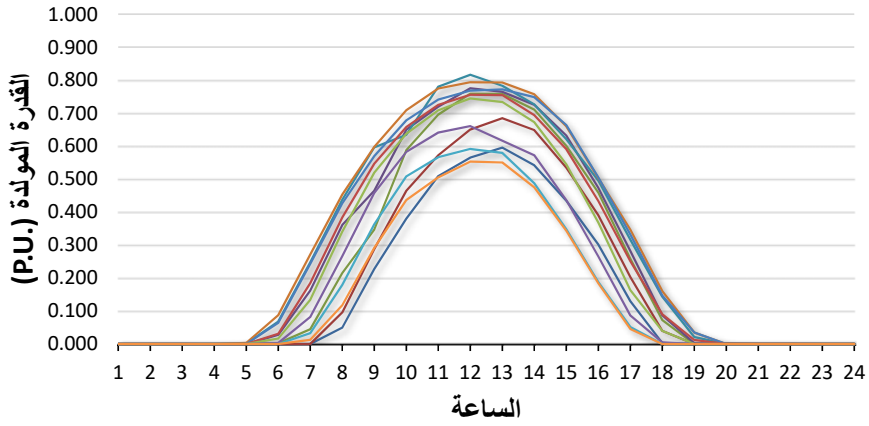
نمـــوذج إنتاج الوحدات الشمسية الفوتوفلطية: استندت نمذجـــة توليد القدرة الكهربائية في الوحـــدات الشمسية الفوتوفلطية إلى قياسات حقلية وبيانات مناخية للإشعـــــــــــــــاع الأفقي الكلي للشمس (Global Horizontal Irradiation - GHI)، والإشعاع الأفقي المنتشر ( Diffuse Horizontal Irradiation - GHI) والإشـعاع المباشـر(Direct Normal Irradiation). وترتبط تلك القياسـات بشكل أساسي بالموقع الجغرافي للمحطة وبالدورة الشمسية اليومية والموسمية، وهي عوامل معروفة ويمكن استشرافها بدقة. إلا أن القدرة المولدة ترتبط أيضاً بغطاء الغيوم في منطقة المحطة، وبالحرارة المحيطة (ambient temperature)، ودرجة تلوث الغطاء الزجاجي للخلايا الشـمسـية بالرمال وهي جميعها عوامل عشـــوائية. ويمثل الشـــكل (رقم 10 أ) الطاقة القصـــوى التي يمكن توليدها من الخلايا الفوتوفلطية خلال جميع أسـابيع السـنة، وهي ترتبط بالدورة الشـمسـية في منطقة المحطة. وتبلغ الطاقة المولدة أسبوعياً الحد الأقصى في نهاية الربيع حيث يرتفع عدد ساعات الإشعاع الشمسي، وتبقى درجة الحرارة المحيطة معتدلة (mild ambient temperature).

ويتم تقدير متوسط الطاقة المولدة في كل شهر على أساس متوسط الطاقة التي يمكن توليدها يومياً خلال سـاعات النهار. ويمثل الشـكل (رقم 10 ب) منحنيات التوليد اليومية خلال أشـهر السـنة، وهي ترتبط بسـاعات الشـروق والغروب وبزاوية ميل الشـمس. و في نهاية أيام الربيع وبداية الصـيف، يمتد التوليد الشـمســـي إلى حوالي 14 ســـاعة وينخفض في أيام الشـــتاء إلى حوالي 9 ســـاعات. ولتمثيل العوامل العشـوائية في التوليد الشـمسـي فقد تم اسـتنباط منحنيات إحصـائية للقدرة المولدة يومياً في أيام الشـهر، حيث أخذ في الاعتبار كثافة الغيوم، وتغير الحرارة المحيطة، وشـدة الرياح وذلك باسـتخراج منحنيات التوزيع التراكمي (cumulative distribution) للقدرة المولـدة في الخلايـا الفوتوفلطيـة خلال 12 أسبوع نمطي في السنة كما هو مبين في الشكل (رقم 10 ج). وبذلك تمثل الأشكال (رقم 10 أ ،10 ب و10ج) نموذجاً رياضـياً إحصـائياً متكاملاً لتقدير إنتاج الخلايا الشـمسـية لاسـتخدامها في نماذج محاكاة مونت كارلو.

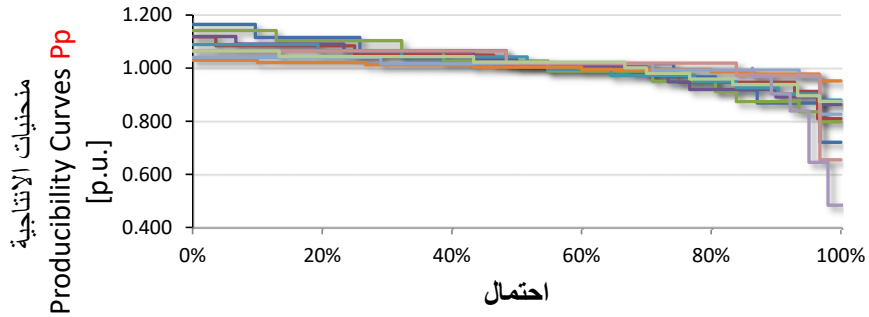
الشكل (رقم 10أ) الطاقة المولدة اسبوعيا من الخلايا الفوتوفلطية في مصر والأردن



الشكل (رقم 10ب) القدرة المولدة يومياً خلال 12 اسبوع نمطي في السنة




الشكل (رقم 10ج) التوزيع التراكمي (cumulative distribution) لمنحنيات انتاجية الخلايا الفوتوفلطية خلال 12 اسبوع نمطي في السنة




ويتضمن الملحق منحنيات الخصائص الاحصائية للرياح والطاقة الشمسية في دول المجموعة الأولى المغرب والجزائر وتونس.

## الجزء الرابع: فرضيات ونتائج الدراسة وتقدير منافع شبكات الربط الكهربائي في خفض تقليص انتاج وحدات الطاقات المتجددة غير المبرمجة

**البيانات والفرضيات الرئيسية:** استندت الدراسة إلى البيانات الخاصة بمنظومات الكهرباء المستخدمة في دراسة الربط العربي الشامل وتقييم استغلال الغاز الطبيعي في تصدير الكهرباء. وتم إجراء المحاكاة الإحصائية – مونت كارلو – لعام 2025، مع الأخذ بعين الاعتبار قدرات التوليد الحرارية والكهرومائية وأنواعها، وبنية وقدرات شبكات النقل وخطوط الربط، والأحمال الكهربائية والطلب على الطاقة خلال ذلك العام.

وفي ظل التغييرات التي طرأت على تقنيات وأسعار وحدات الخلايا الفوتوفلطية والرياح من جهة، والإجراءات والخطط التي وضعتها عدة دول لزيادة قدرات التوليد بالطاقات المتجددة من جهة أخرى، فقد تم إجراء المحاكاة الإحصائية لمنظومات الكهرباء من خلال سيناريو عدد 2 كما هو مبين أدناه:

1- سيناريو النمو المتوقع (Inertial Scenario): حيث تم افتراض أن قدرات التوليد بالطاقات المتجددة ستنمو بمتوسط معتدل (moderate growth) من عام 2017 إلى عام 2025.

2- سيناريو البرنامج السياسي (Policy Scenario): تم افتراض أن الخطط الطموحة وسياسات التحفيز للطاقات المتجددة سترفع معدل نمو قدرات الطاقات المتجددة بمعدل مرتفع من عام 2017 إلى عام 2025. وتم الاستناد إلى خطط معلنة لتوسع قدرات التوليد المتجددة من الدول المشمولة في الدراسة.

**فرضيات المحاكاة:**

تم في الحالة الثانية للمحاكاة افتراض وجود أسعار مرتفعة للطاقات المتبادلة (hurdle cost) لمنع حصول التبادل بين الدول لأغراض اقتصادية، واقتصار استخدام خطوط الربط لنقل الطاقات المتجددة الزائدة عن احتياجات الدولة المنتجة لها. وتم افتراض وجود في كل دولة خاصية استجابة الطلب (demand response) وذلك لمنع استخدام خطوط الربط لهذا الغرض، أي أن التركيز في محاكاة الحالة الثانية هو إبراز دور خطوط الربط في تبادل الطاقات المتجددة، وتخصيص سعة النقل في الخطوط لهذا الغرض، وليس لأغراض التبادل التجاري أو الحفاظ على أمن الشبكات.

**بيانات ونتائج المجموعة الأولى المغرب والجزائر وتونس:**

الطلب على الطاقة والحمل الأقصى والقدرة المركبة الحرارية: يتضمن الجدول رقم (3) البيانات الخاصة بالطلب على الطاقة والحمل الأقصى لأفق عام 2025 لدول المجموعة الأولى، حيث قدر إجمالي الطلب على الطاقة بحوالي 188.3 ألف ج.و.س.، وقدر مجموع الحمل الأقصى في الدول الثلاث بحوالي 35.7

ألف ج.و.س. واستناداً إلى بيانات الطلب على الطاقة والحمل الأقصى للعام 2017[6]، قدر المعدل السنوي لنمو الطلب على الطاقة والحمل الأقصى حتى عام 2025 على التوالي بحوالي 5.6% و4.9%. وقدر إجمالي القدرات المركبة الحرارية في عام 2025 بحوالي 45.9 ألف م.و.، تمثل معدل نمو سنوي متوقع بحوالي 5.6%.

قدرات وحدات الطاقات المتجددة

1- قدرات سيناريو النمو المتوقع(Inertial Scenario): يتوقع أن تقوم مجموعة الدول الأولى بإضافة حوالي 11.06 ألف م.و. من وحدات الطاقة المتجددة الشمسية والهوائية تمثل حوالي 19.4% من إجمالي القدرات المركبة في عام 2025. ومن المتوقع أن تمثل نسبة القدرات المتجددة في المغرب حوالي 36% وهي أعلى نسبة مقارنة مع 16.1% و11.8% على التوالي في كل من تونس والجزائر. وستمثل نسبة الطاقات المولدة من القدرات المتجددة من إجمالي استهلاك الطاقة في عام 2025 في كل دولة من المجموعة الأولى 29% و7% و10% على التوالي في المغرب والجزائر وتونس.

2- قدرات سيناريو البرنامج السياسي(Policy Scenario): يعكس هذا السيناريو الخطط والأهداف التي وضعتها الحكومات لمنظومة التوليد بالطاقات المتجددة لعام 2025، حيث سيبلغ إجمالي القدرات المركبة حوالي 23.2 ألف م.و. تمثل حوالي 35.6% من إجمالي طاقات التوليد. ولن يتغير ترتيب الدول الثلاث من حيث ارتفاع نسبة الطاقات المتجددة فيها حيث ستبلغ حوالي 47% و31.1% و27.4% على التوالي في المغرب وتونس والجزائر. ويتوقع أن تصبح نسبة الطاقات المولدة من القدرات المتجددة إلى إجمالي الاستهلاك حوالي 47% و19% و22% على التوالي في المغرب والجزائر وتونس.

## الجدول رقم 3 : مجموعة الربط الأولى
## المملكة المغربية – الجمهورية الجزائرية – الجمهورية التونسية
## عام المحاكاة (Simulation Horizon) – 2025

### المملكة المغربية

**الطلب السنوي**

| الطاقة |
|---|
| 53,600 ج.و.س. |
| الحمل الأقصى |
| 9,000 م.و. |

| منظومة التوليد | سيناريو النمو المتوقع (م.و.) | سيناريو البرنامج السياسي (م.و) |
|---|---|---|
| التوليد الحراري | 10,565 | 10,565 |
| الطاقة المتجددة المبرمجة التوليد الكهرومائي | 2,000 | 2,470 |
| الطاقة المتجددة غير المبرمجة | | |
| الرياح | 2,000 | 3,480 |
| الخلايا الفوتوفلطية | 800 | 1390 |
| الطاقة الشمسية المركزة | 1200 | 2130 |
| **المجموع** | **16,565** | **20,035** |

### الجمهورية الجزائرية

**الطلب السنوي**

| الطاقة |
|---|
| 111,700 ج.و.س. |
| الحمل الأقصى |
| 21,400 م.و. |

| منظومة التوليد | سيناريو النمو المتوقع (م.و.) | سيناريو البرنامج السياسي (م.و) |
|---|---|---|
| التوليد الحراري | 29,935 | 29,935 |
| الطاقة المتجددة المبرمجة التوليد الكهرومائي | - 0 - | - 0 - |
| الطاقة المتجددة غير المبرمجة | | |
| الرياح | 1,010 | 3,010 |
| الطاقة الشمسية | 3,000 | 8,290 |
| **المجموع** | **33945** | **41235** |

### الجمهورية التونسية

**الطلب السنوي**

| الطاقة |
|---|
| 23,000 ج.و.س. |
| الحمل الأقصى |
| 5,300 م.و. |

| منظومة التوليد | سيناريو النمو المتوقع (م.و.) | سيناريو البرنامج السياسي (م.و) |
|---|---|---|
| التوليد الحراري | 5,405 | 5,405 |
| الطاقة المتجددة المبرمجة التوليد الكهرومائي | 60 | 60 |
| الطاقة المتجددة غير المبرمجة | | |
| الرياح | 600 | 1,000 |
| الطاقة الشمسية | 450 | 1,465 |
| **المجموع** | **6,515** | **7,930** |

**نتائج المحاكاة**

سيناريو النمو المتوقع(Inertial Scenario): بينت نتائج المحاكاة لأداء منظومة التوليد في الدول الثلاث في الحالة الأولى التي تفترض فصل شبكات الربط بينها وفي الحالة الثانية التي تفترض وجود شبكات الربط، أن الطلب في الدول الثلاث على الطاقة والحمل الأقصى يتم تلبيته من خلال منظومات التوليد التقليدي وبالطاقات المتجددة، دون احتمال تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة في المغرب، بينما تساعد شبكات الربط في الجزائر وتونس بخفض متوسط تقليص إنتاج وحدات الطاقة المتجددة لكن بنسبة ضئيلة جداً. وعليه يتبين أن الطاقات المتجددة في الدول الثلاث التي سيتم تطويرها ضمن سيناريو النمو المتوقع تستجيب بشكل أساسي لاحتياجات الطلب على الطاقة والحمل الأقصى، دون احتمال تقليص إنتاج الطاقات المتجددة، أو تصدير الطاقات الإضافية المولدة الفائضة على خطوط الربط الكهربائي إلى دول الجوار.

سيناريو البرنامج السياسي(Policy Scenario): تم إجراء المحاكاة في هذا السيناريو لثلاث حالات كما هو مبين أدناه:

1- في الحالة الأولى يتم فصل خطوط الربط الكهربائي بين الدول الثلاث مع الإبقاء على خطي الربط إسبانيا – المغرب، وإيطاليا – تونس..

2- تجرى المحاكاة في الحالة الثانية بافتراض أن خطوط الربط الكهربائي بين دول المجموعة تعمل بحدود صافي سعة النقل لها (NTC)، مع الإبقاء على خطي الربط مع إسبانيا وإيطاليا.

3- في الحالة الثالثة، تجرى المحاكاة بافتراض أن سعة خطوط الربط الكهربائي بين دول المجموعة، تعمل بحدود سعة الخطوط الحرارية (Thermal Line Capacity)، مع إبقاء على خطي الربط بين إسبانيا وإيطالي.

ويتضمن الجدول خلاصة رقم 4 لنتائج المحاكاة ومتوسط كميات تقليص إنتاج الطاقات المتجددة في الحالات الثلاث:

**الجدول رقم 4**

**متوسط كميات الطاقة المتجددة التي يحتمل تقليصها**

| الدول | الحالة الأولى ج.و.س. | الحالة الثانية ج.و.س. | الحالة الثالثة ج.و.س. | نسبة التقليص * % |
|---|---|---|---|---|
| **المغرب** | 318.0 | 21.1 | 11.7 | 0.60 |
| **الجزائر** | 267.1 | 51.1 | 21.7 | 0.24 |
| **تونس** | 93.8 | 0.1 | 0.1 | 0.42 |

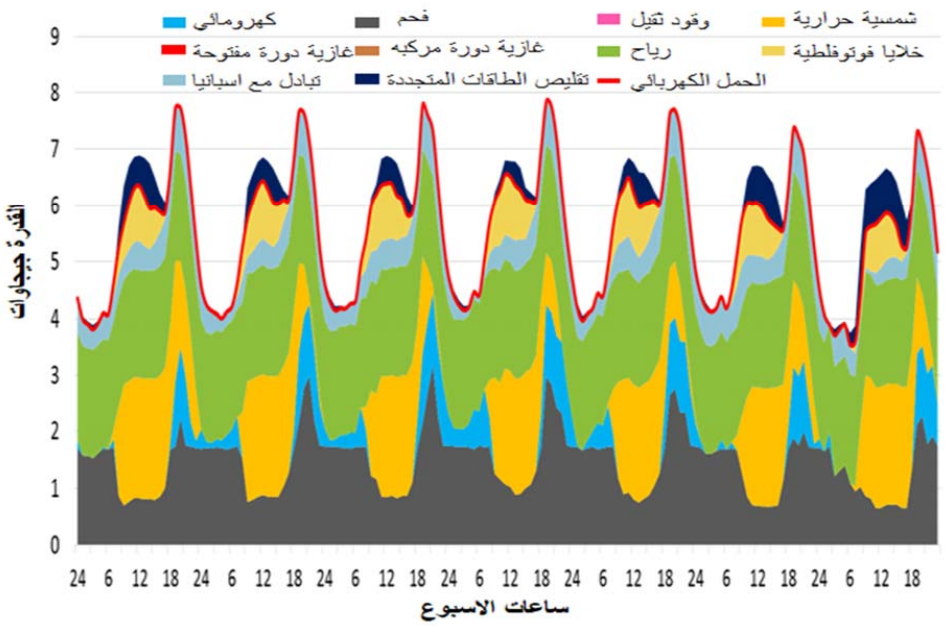
(*) تم حساب نسبة التقليص من إجمالي القدرة المولدة.

ويتضح أن المملكة المغربية ذات النسبة الأعلى من القدرات المتجددة في منظومة التوليد فيها ستكون هي الأكثر استفادة من خطوط الربط الكهربائي بسبب خفض متوسط تقليص توليد إنتاج القدرات المتجددة فيها بحوالي 296.9 ج.و.س.(الفرق بين الحالة الأولى والثانية)، أي ما يساوي حوالي 93% من الطاقة المتجددة التي تقلص في الحالة الأولى. ويليها الجزائر وتونس بحوالي 216 ج.و.س.، و93.7 ج.و.س. تمثل حوالي 81% و99% على التوالي.

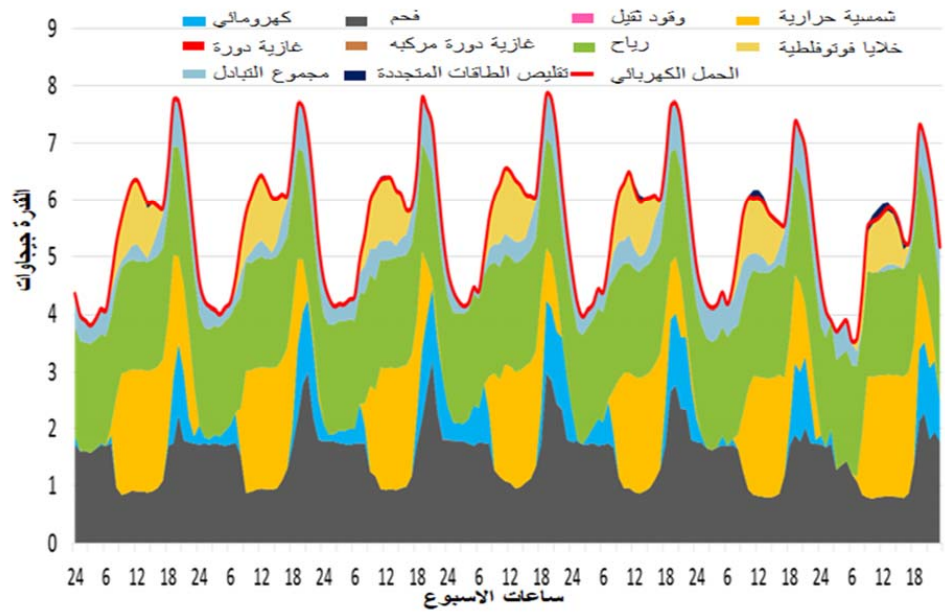
ويبين الشكل رقم (11 أ) توزيع توليد القدرة المولدة في مختلف مصادر التوليد الحرارية والطاقات المتجددة في المغرب بداية الربيع (خلال الأسبوع 12) في الحالة الأولى، أي بفصل خطوط الربط الكهربائي. ويتبين أن تقليص إنتاج الطاقات المتجددة يتم خلال ساعات الظهيرة حيث يرتفع إنتاج وحدات الطاقة الشمسية وينخفض نسبياً الحمل الكهربائي. والجدير بالملاحظة أنه خلال الأسبوع المذكور بقي إنتاج وحدات التوليد الحرارية بالفحم في الحد الأدنى المسموح به، ولم تستخدم جميع الوحدات الغازية.

أما في الحالة الثانية، حيث يتم استخدام خطوط الربط الكهربائي، كما في الشكل رقم (11 ب) يتوقع أن ينعدم تقريباً تقليص إنتاج الطاقات المتجددة في كافة أيام الأسبوع باستثناء أيام نهاية الأسبوع حيث ينخفض الطلب على الحمل الأقصى.

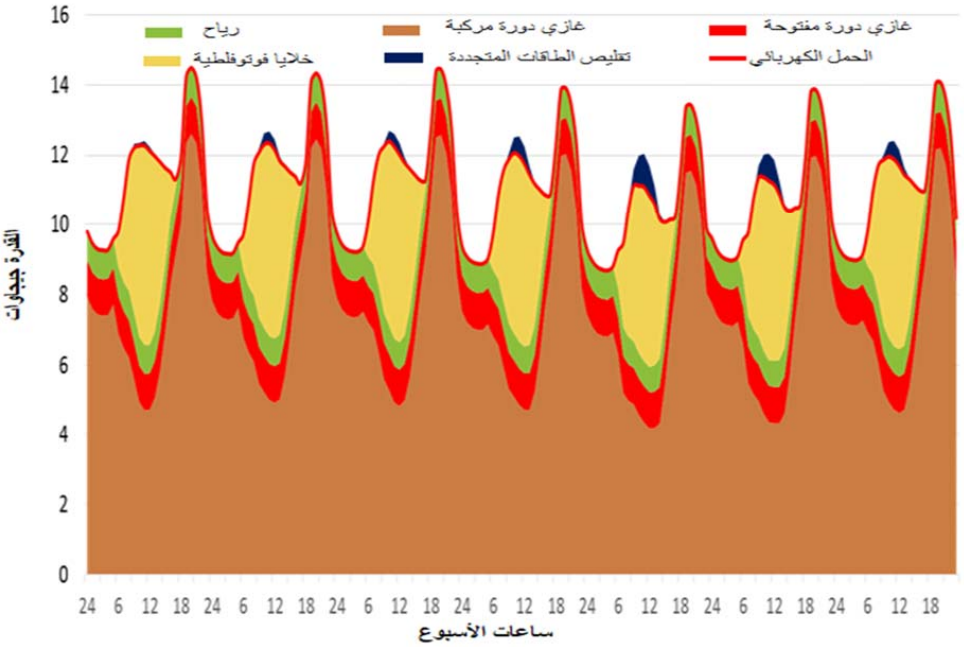
الشكل رقم 11 أ - مصادر التوليد فى الأسبوع 12 في المغرب – الحالة الأولى



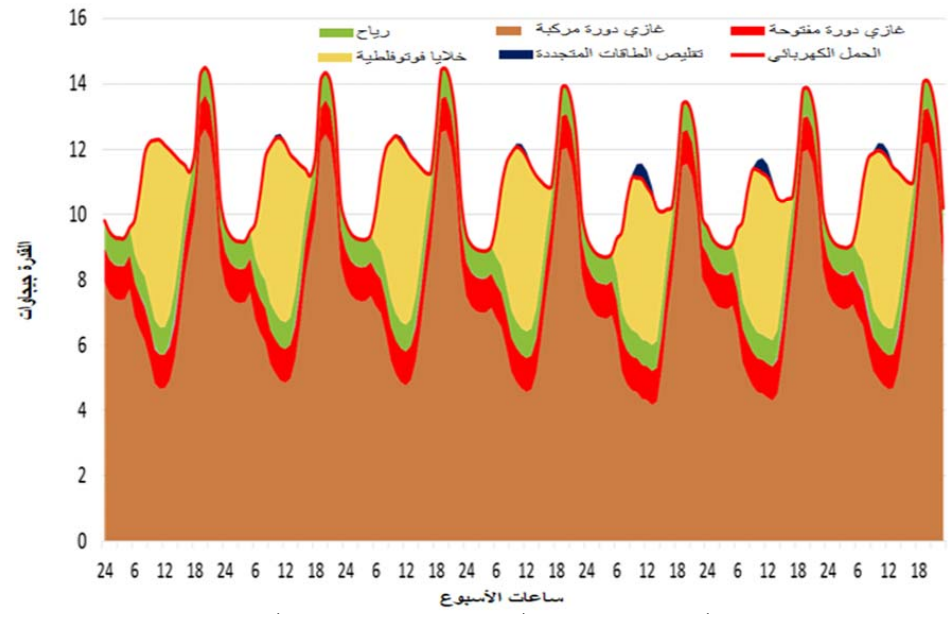

الشكل رقم 11 ب - مصادر التوليد فى الأسبوع 12 في المغرب – الحالة الثانية



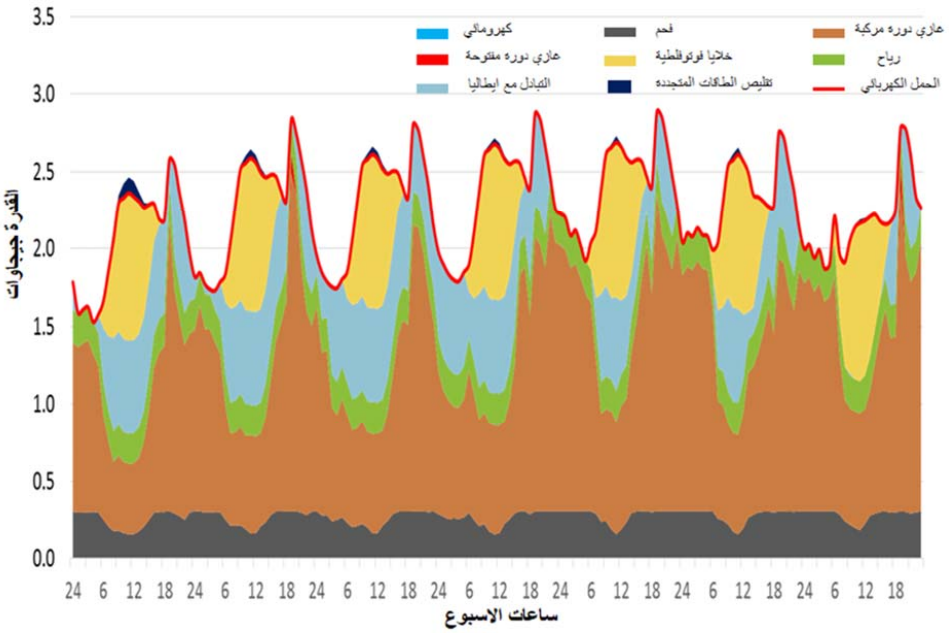
الشكل رقم 12 أ - مصادر التوليد فى الأسبوع 12 في الجزائر – الحالة الأولى



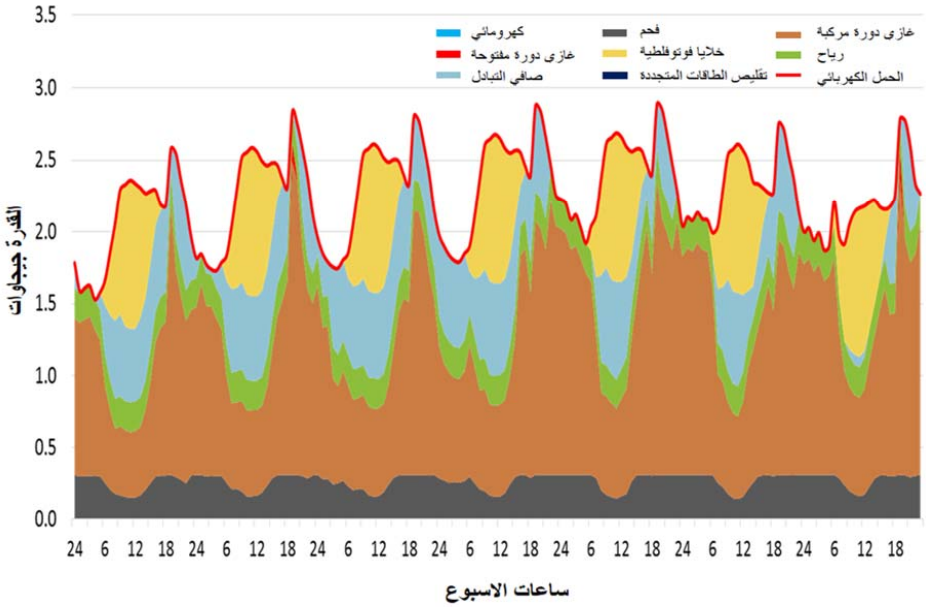

الشكل رقم 12 ب - مصادر التوليد فى الأسبوع 12 في الجزائر – الحالة الثانية



الشكل رقم 13 أ - مصادر التوليد فى الأسبوع 12 في تونس – الحالة الأولى




الشكل رقم 13 ب - مصادر التوليد فى الأسبوع 12 في تونس – الحالة الثانية

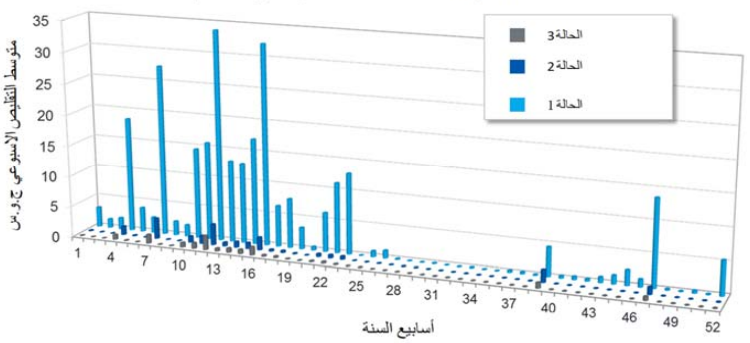


ويمكن ملاحظة أداء مشابه لمتوسط تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة في كل من الجزائر وتونس في الشكلين رقم (12) ورقم (13). وفي الحالة الأولى في الجزائر الشكل رقم (12 أ) تم إبقاء وحدات التوليد الحرارية بالدورة المركبة عند حدها الأدنى في أيام نهاية الأسبوع، مع المحافظة على بعض الوحدات الغازية في الخدمة للحفاظ على توازن الشبكة. أما في الحالة الثانية الشكل رقم (12 ب)، أدت خطوط الربط الكهربائي إلى خفض متوسط تقليص إنتاج الطاقات المتجددة خلال أيام الأسبوع (باستثناء أيام نهاية الأسبوع).

ولوحظ في حالة تونس الأولى كما في الشكل رقم (13 أ) بأن احتمال تقليص إنتاج الطاقات المتجددة يبقى ضئيلاً مقارنة بتقليص الإنتاج في كل من المغرب والجزائر وفي هذه الحالة يبقى إنتاج الوحدات الحرارية عند حدها الأدنى. أما في الحالة الثانية كما في الشكل رقم (13 ب) تؤدي خطوط الربط الكهربائي إلى انعدام احتمال تقليص إنتاج الطاقات المتجددة.

ويتضح من الشكل رقم 14 أن تقليص انتاج الطاقات المتجددة في المغرب يرتفع مع بداية شهر فبراير، ويبلغ أقصاه في شهر مارس، ويستمر كذلك حتى نهاية شهر ابريل، وشبه ينعدم في أشهر الصيف.

الشكل رقم 14 . متوسط التقليص في أسابيع السنة في المغرب




**<u>بيانات ونتائج المجموعة الثانية مصر والأردن</u>**

<u>الطلب على الطاقة والحمل الأقصى والقدرة الحرارية المركبة:</u> يتضمن الجدول رقم (5) تقديرات الطلب على الطاقة والحمل الأقصى لأفق عام (2025) لدول المجموعة الثانية. وقدر إجمالي الطلب على الطاقة والحمل الأقصى على التوالي بحوالي 306.5 ألف ج.و.س. 49.3 ألف م.و. واستناداً إلى بيانات الطلب على الطاقة والحمل الأقصى لعام 2007[7]، قدر المعدل السنوي لنمو الطلب على الطاقة والحمل الأقصى

[7] النشرة الإحصائية للاتحاد العربي لعام 2017.

خلال الفترة 2017 -2025، على التوالي بحوالي 4.86% و5.25%. وقدر إجمالي القدرات المركبة الحرارية في عام 2025 بحوالي 53.6 ألف م.و.، تمثل معدل نمو سنوي متوقع بحوالي 2.17%.

**قدرات وحدات الطاقات المتجددة**

1- قدرات سيناريو النمو المتوقع(Inertial Scenario): يفترض هذا السيناريو أن قدرات الطاقات المتجددة ستنمو بمتوسط نمو معتدل. ويستند هذا السيناريو إلى أفضل المعلومات المتوفرة من شركتي الكهرباء في مصر والأردن، ومن المتوقع أن تبلغ نسبة إنتاج القدرات المركبة إلى كميات القدرة المستهلكة في عام 2025 كالتالي:

- الأردن 18%.

- مصر 11% بما فيها 5% إنتاج الوحدات الكهرومائية.

2- قدرات سيناريو البرنامج السياسي(Policy Scenario): تم افتراض أن قدرات الطاقات المتجددة في الأردن ستبقى كما هي في سيناريو النمو المتوقع. أما في مصر فتم افتراض حصول زيادة كبيرة في الطاقات المتجددة عملاً بالبرنامج السياسي للحكومة المصرية الذي يستند إلى الالتزامات الواردة في اتفاقية باريس للمناخ "COP21"، وما تلاها من الالتزامات الوطنية ( Nationally Determined Contributions-NDC) (United Nations-2015) المنصوص عليها في الاستراتيجية المصرية للطاقة حتى أفق عام 2035. وشملت الاستراتيجية عدة سيناريوهات لخفض إنتاج انبعاثات الغاز الدفئ في قطاع توليد الكهرباء. وتم إجراء دراسات خلال الفترة (2017 – 2018) خاصة بالربط الكهربائي عبر البحر المتوسط (Trans-Mediterranean Interconnections) والتي تضمنت أهداف رفع القدرات المتجددة حتى عام 2030. وتم تقدير قدرات التوليد لعام 2025 على أساس النمو الخطي لهذه القدرات من عام 2018 إلى عام 2030. وبذلك يفترض في هذا السيناريو أن القدرات المولدة من الطاقات المتجددة إلى نسبة الطاقة المستهلكة في عام 2025 ستكون كالتالي:

- الأردن 18%.

- مصر 30% بما فيها 5% من إنتاج الوحدات الكهرومائية.

## الجدول رقم 5 : مجموعة الربط الثانية

## جمهورية مصر العربية والمملكة الأردنية الهاشمية

## عام المحاكاة (Simulation Horizon) – 2025

### المملكة الأردنية الهاشمية

**الطلب السنوي**

| الطاقة |
|---|
| 26,100 ج.و.س. |
| الحمل الأقصى |
| 4,200 م.و. |

| منظومة التوليد | سيناريو النمو المتوقع (م.و.) |
|---|---|
| التوليد الحراري | 4,210 |
| الطاقة المتجددة المبرمجة التوليد الكهرومائي | (0) |
| الطاقة المتجددة غير المبرمجة | |
| الرياح | 715 |
| الطاقة الشمسية | 1,213 |
| **المجموع** | **6,138** |

### جمهورية مصر العربية

**الطلب السنوي**

| الطاقة |
|---|
| 280,400 ج.و.س. |
| الحمل الأقصى |
| 45,100 م.و. |

| منظومة التوليد | سيناريو النمو المتوقع (م.و.) | سيناريو البرنامج السياسي (م.و) |
|---|---|---|
| التوليد الحراري | 49,373 | 49,373 |
| الطاقة المتجددة المبرمجة التوليد الكهرومائي | 2,800 | 2,800 |
| الطاقة المتجددة غير المبرمجة | | |
| الرياح | 2,600 | 12,328 |
| الطاقة الشمسية | 3,581 | 15,750 |
| **المجموع** | **58,354** | **80,251** |

**نتائج المحاكاة**

سيناريو النمو المتوقع(Inertial Scenario): أظهرت نتائج محاكاة أداء منظومة الكهرباء في كل من مصر والأردن في الحالة الأولى التي تفترض فصل خط الربط الكهربائي بينهما، أن إنتاج وحدات الطاقات المتجددة في البلدين يتم استخدامها لتلبية الطلب على الطاقة والحمل الأقصى، دون احتمال تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة.

أما في الحالة الثانية، تبين أن تشغيل خط الربط بين البلدين لا يؤدي إلى تغيير النتائج من حيث احتمال تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة في كل بلد.

سيناريو البرنامج السياسي(Policy Scenario): تم إجراء المحاكاة في هذا السيناريو لثلاث حالات كما هو مبين أدناه:

1- في الحالة الأولى تم فصل خط الربط الكهربائي بين البلدين وأجريت المحاكاة.

2- في الحالة الثانية، أجريت المحاكاة بافتراض أن خط الربط الكهربائي يعمل بحدود صافي سعة النقل (NTC) وهي 550 م.و.

3- في الحالة الثالثة، أجريت المحاكاة بافتراض مضاعفة سعة النقل في خط الربط لتصبح 1100 م.و. والجدير بالذكر أن هذه حالة نظرية للتوصل إلى تقدير تأثير سعة خط النقل على كمية تقليص إنتاج وحدات الطاقة المتجددة.

ويتضمن الجدول رقم 6 نتائج متوسط تقليص إنتاج الطاقات المتجددة في الحالات الثلاث.

**الجدول رقم 6**

**متوسط إنتاج الطاقات المتجددة المحتمل تقليصها**

| تقليص إنتاج الطاقة المتجددة | الحالة الأولى ج.و.س. | الحالة الثانية ج.و.س. | الحالة الثالثة ج.و.س. |
|---|---|---|---|
| **مصر** | 244 | 144 | 90 |
| **الأردن** | 0 | 0 | 0 |

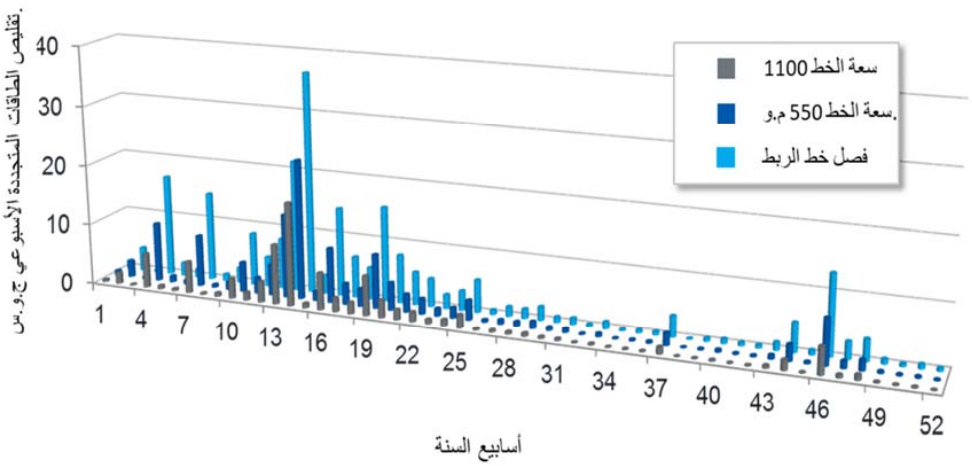
يتضح من نتائج المحاكاة أن خط الربط المصري الأردني، في الحالة الثانية، تمكن فقط من خفض متوسط كمية تقليص الإنتاج في مصر من حوالي 244 ج.و.س. إلى 144 ج.و.س. أي أن متوسط تقليص الإنتاج

انخفض فقط بحدود 100 ج.و.س.. أما في الحالة الثالثة المتمثلة بمضاعفة سعة خط الربط، ينخفض متوسط تقليص الطاقة من 244 ج.و.س. إلى حوالي 90 ج.و.س. ويبرز الشكل رقم (15) متوسط كميات تقليص إنتاج وحدات الطاقات المتجددة على مدار أسابيع السنة في مصر في الحالات الثلاث، حيث يتبين أن أعلى متوسط كميات تقليص الإنتاج سوف تحصل في أسابيع الربيع( الأسابيع 13-16)، وبالخصوص الأسبوع 14. وتجدر الإشارة إلى أنه ينخفض الطلب على الحمل الأقصى نسبياً خلال فصل الربيع، ويبلغ إنتاج الطاقات المتجددة ذروته. أما في الأردن، بما أنه لم تضاف أي وحدات طاقة متجددة في سيناريو البرنامج السياسي كما هو مبين في الجدول رقم (5)، لم يطرأ أي تغيير في إنتاج الطاقات المتجددة، في الحالات الثلاث.



الشكل رقم (15)

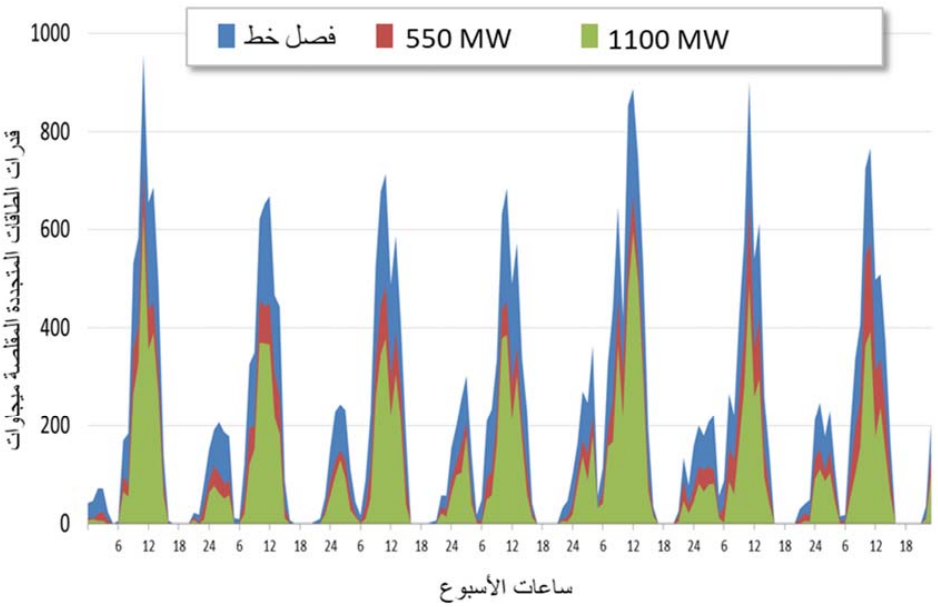
إنتاج الطاقات المتجددة التي تم تقليصها في مصر خلال أسابيع عام 2025




ويمثل الشكل رقم (16) متوسط تقليص إنتاج الطاقات المتجددة خلال أيام الأسبوع 14 من يوم الاثنين إلى يوم الأحد، للحالات الثلاث. ويلاحظ في الشكل أن متوسط تقليص القدرة في جميع أيام الأسبوع يزيد عن 600 م.و.، ويبلغ متوسط التقليص أقصاه في يوم الجمعة حيث ينخفض الحمل الأقصى عادة إلى حده الأدنى خلال الأسبوع.

الشكل رقم (16)

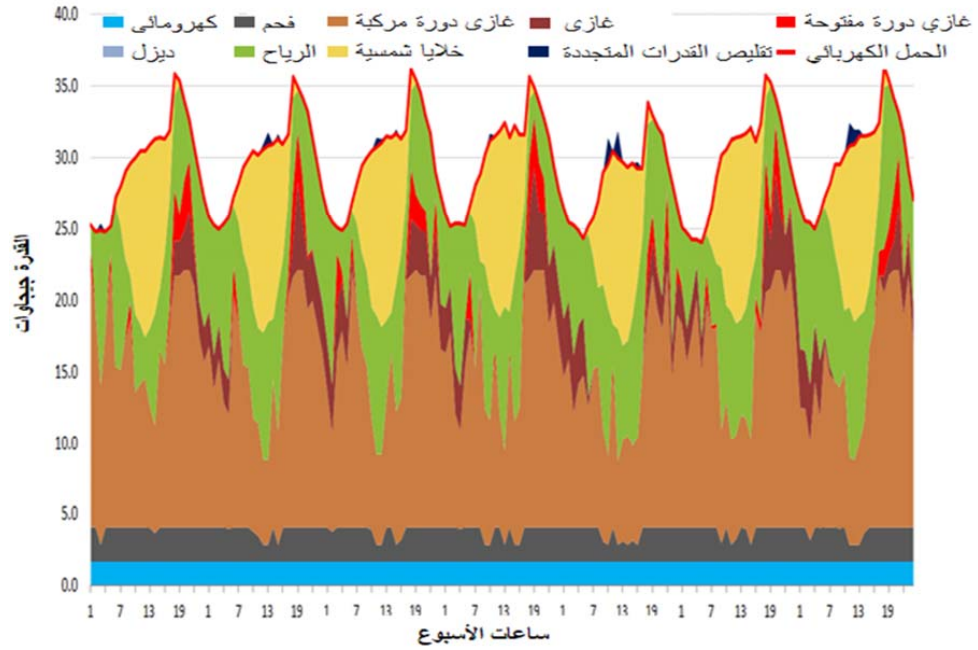
متوسط القدرات المقلصة في مصر خلال الأسبوع 14



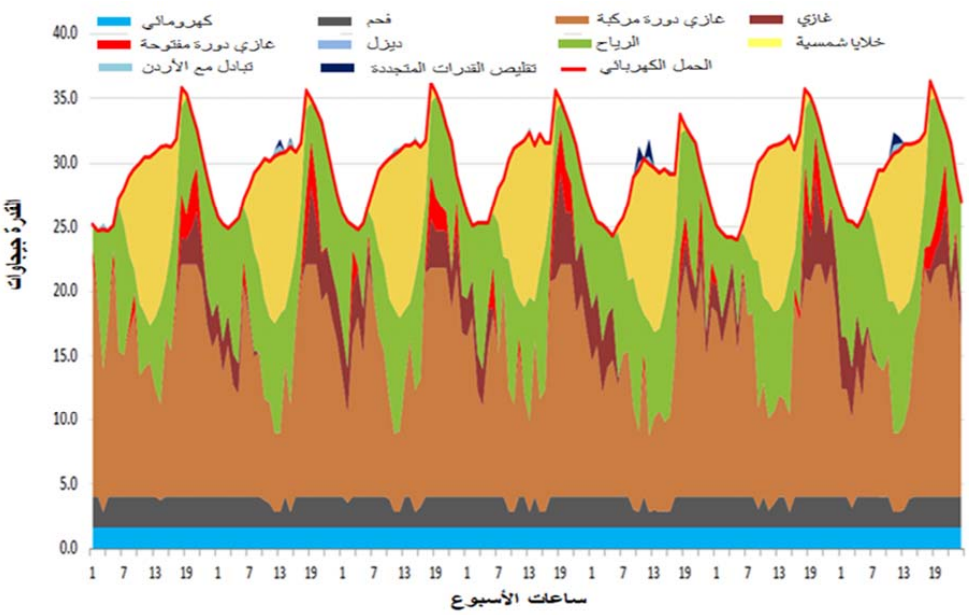

ويمثل الشكل رقم (17، أ) متوسط القدرات المنتجة في مصر خلال الأسبوع 14 من مختلف مكونات منظومة التوليد في الحالة الأولى. وتجدر الإشارة إلى أنه بسبب ارتفاع توليد الطاقات المتجددة حوالي ساعات الظهيرة وبالخصوص الخلايا الشمسية، يتوقع أن ينخفض التوليد الحراري بالدورة المركبة والفحم إلى حده الأدنى، ويرتفع في هذه الساعات متوسط تقليص إنتاج الطاقات المتجددة، ويتوقع أن يبلغ ذروة التقليص في ظهيرة يومي الجمعة والأحد.

ويمثل الشكل رقم (17، ب) متوسط القدرات المنتجة في مصر في ذات الأسبوع، لكن مع وضع خط الربط مع الأردن في الخدمة (الحالة الثانية). وكما في الحالة الأولى، يبقى توليد الوحدات الحرارية في حده الأدنى، وينخفض متوسط تقليص إنتاج الطاقات المتجددة نتيجة إرسال القدرة الزائدة إلى الأردن، وبالخصوص في يومي الجمعة والأحد.

الشكل رقم 17 أ - مصادر التوليد فى الأسبوع 14 في مصر – الحالة الأولى




الشكل رقم 17 ب - مصادر التوليد فى الأسبوع 14 في مصر – الحالة الثانية



**ملاحظات حول نتائج المحاكاة**

1- بينت نتائج المحاكاة لمجموعتي الربط الكهربائي في دول المغرب العربي وفي مصر والأردن دور خطوط الربط الكهربائي في خفض متوسط تقليص إنتاج الطاقات المتجددة وخصوصاً خلال فصل الربيع حين يرتفع إنتاج الخلايا الشمسية والرياح، وتنخفض الأحمال الكهربائية.

2- تبين في حالة الربط المصري – الأردني تأثير سعة خط الربط على متوسط كميات خفض تقليص إنتاج الطاقات المتجددة في مصر، وذلك من خلال مراجعة نتائج متوسط التقليص في الحالة النظرية الثالثة التي افترض فيها مضاعفة سعة خط الربط من 550 ميجاوات إلى 1100 ميجاوات، مما أدى خفض متوسط التقليص من 144 ج.و.س. إلى 90 ج.و.س.

3- تبين أن الوحدات الحرارية في جميع الدول سواءً في المجموعة الأولى أو الثانية كانت تعمل عند حدها الأدنى المسموح به للحفاظ على الاحتياطي الحراري اللازم، بسبب ارتفاع توليد وحدات الطاقات المتجددة خلال الأسابيع التي تم استعراضها.

4- بيّن تحليل تبادل الطاقة بين المجموعة الأولى، أنه تم في بعض الحالات تصدير الطاقة الزائدة إلى إسبانيا و/ أو إيطاليا بسبب عدم إمكانية الدول الثلاث في المجموعة استقبال أي طاقة إضافية، لكون وحداتها الحرارية تعمل عند حدها الأدنى.

**دقة وتقارب نتائج محاكاة مونت كارلو ( Accuracy and Convergence of Monte Carlo Simulation Results)**

بالاستناد إلى قانون الأرقام الكبيرة (Law of Large Numbers) ونظرية الحد المركزية (Central Limit Theorem)، فإن الخطاء (error) بين المتوسط (average) والنتيجة المتوقعة (expected value) يتبع التوزيع الطبيعي ( Normal or Gaussian Distribution)، وبالإمكان حساب الحد الأعلى(Upper Bound) للخطاء باحتمال 95% (with a probability of 95%) باستخدام العلاقة:

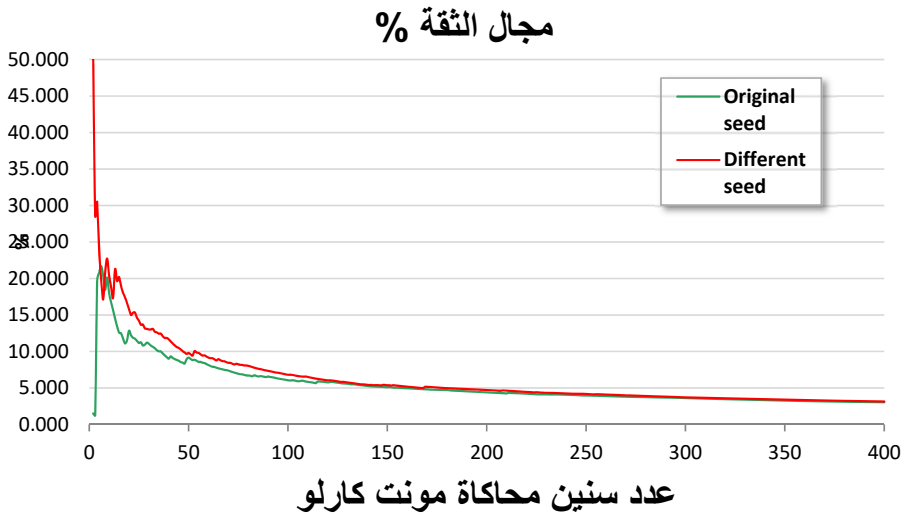
$$|\varepsilon_N| \leq 1.96\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

ويمثل $\varepsilon_N$ الخطاء، و $\sigma$ هو الانحراف المعياري، و $N$ هو عدد تكرار المحاكاة، وفي هذا البحث فإن $N$ تساوي 400. وباستخدام هذه العلاقة تم حساب قيمة الخطاء في قيمة متوسط التقليص في إنتاج الطاقات المتجددة. وتبين أن قيمة الخطاء تقع في المجال $\pm$ 3.15% و$\pm$ 4.4 % على التوالي لنتائج المحاكاة للمجموعة الثانية والأولى. وتدل الحدود العليا للخطاء للمجموعتين على دقة

النتائج التي توصلت إليها محاكاة أداء منظومات الكهرباء، في ظل وجود قدرات توليد بالطاقات المتجددة الشمسية وبالرياح.

وللتحقق من تقارب (Convergence) النتائج النهائية لمحاكاة مونت كارلو لتحديد متوسط كميات الطاقات المتجددة التي يحتمل تقليصها في الحالات الأولى والثانية والثالثة، لمجموعتي الدول الأولى والثانية، فقد أعيد إجراء المحاكاة بتغيير رقم البداية لمولد الأرقام العشوائية ( seed of random number generator) وتبين أن نتائج المحاكاة مع تغيير رقم البداية تتقارب من النتائج النهائية متى زاد عدد سنين المحاكاة (N) عن 200 (الشكل رقم 18) .

الشكل رقم 18. مجال الثقة لمحاكاة المجموعة الثانية مع تغيير رقم البداية (Seed Number)



## الخلاصة

توصلت دراسة تقدير منافع شبكات الربط العربي في تعظيم استغلال الطاقات المولدة من وحدات الطاقات المتجددة، باستخدام منهجية محاكاة مونت كارلو، إلى تحديد بدقة مقبولة، متوسط كميات الطاقة المتجددة التي يمكن تجنب تقليصها، من خلال استغلال خطوط الربط الكهربائي بإرسالها إلى دول الجوار. وشملت الدراسة سيناريو عدد 2 لنمو قدرات وحدات الطاقات المتجددة في مجموعة دول المغرب العربي ومجموعة مصر والأردن. وبينت الدراسة أنه في سيناريو النمو المتوقع (Inertial Scenario) يبقى متوسط إنتاج الطاقات المتجددة في كل دولة في الحدود اللازمة لتلبية الحمل الكهربائي في تلك الدولة، مما ينفي احتمال إرسال الطاقة المتجددة الزائدة عن احتياجاتها إلى دول الجوار. أما في سيناريو البرنامج السياسي (Policy Scenario)، حيث يتوقع أن ترتفع قدرات الطاقة المتجددة إلى حوالي 35% من قدرة التوليد في منظومة الكهرباء لعدة دول عربية، توصلت الدراسة إلى تحديد الظروف والأوقات التي يرتفع فيها احتمال تقليص إنتاج الطاقات المتجددة ومتوسط كميات الطاقة المقلصة، والتي يمكن خفضها بشكل كبير، وذلك بإرسالها من خلال خطوط الربط إلى دول الجوار في المجموعة، وحتى إلى إسبانيا وإيطاليا. وأبرزت النتائج تأثير سعة خطوط الربط على متوسط كميات الطاقة المتجددة التي ستقلص بسبب زيادتها عن احتياجات الدول التي أنتجت فيها. وأظهرت الدراسة أن احتمال تقليص إنتاج القدرات المتجددة يرتفع بعد بلوغ إنتاج الوحدات الحرارية الحد الأدنى المسموح به للحفاظ على أمان منظومة الكهرباء. واستناداً إلى النتائج التي توصلت إليها هذه الدراسة، فإنه من المتوقع أن تلعب خطوط وشبكات الربط العربي في المستقبل دوراً محورياً في تعظيم منافع الطاقات المتجددة، وذلك في ظل توجه عدد كبير من الدول العربية مثل الأردن والمغرب و الإمارات العربية المتحدة، ومصر والمملكة العربية السعودية وتونس إلى وضع برامج طموحة لزيادة قدرات الطاقات المتجددة.

# المراجع

*Anderson, C. L.; Cardelle, J.B. (2009). "Analysis of Wind Penetration and Network Reliability Through Monte Carlo Simulation". Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference. doi:10.1109/WSC.2009.5429298.*

*APICORP(2018). "Renewables in the Arab world: maintaining momentum", APICORP Energy Research, Vol. 03 No.10, July 2018,* http://www.apicorp-arabia.com/Research/EnergyReseach/2018/APICORP_Energy_Research_V03_N08_2018.pdf

*Breseti, P.;Calisti, R.; Provenzano, D.; Vaiani, A. and Zecca, B. (2004). "Probalistic Model for Adequency Evaluation of Electric Networks with Sizeable Wind Power Generation". IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, New York, N.Y. USA. doi:10.1109/PSCE.2004. 397625.*

*GRARE (2018). "Grid Reliability and Adequacy Risk Evaluator".Terna Group, Developed by CESI;* https://www.cesi.it/services/power_transmission_and_distribution/Documents/GRARE_brochure.pdf

*Kroese, D. P.; Brereton, T.; Taimre, T.; Botev, Z. I. (2014). "Why the Monte Carlo method is so important today". WIREs Comput Stat. **6** (6): 386–392. doi:10.1002/wics.1314.*

*Leite, A. P.; Borges, C.L.; Falcao,D M. (2006). "Probabilistic Wind Farms Generation Model for Reliability Studies Applied to Brazilian Sites". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 4,November 2006.*

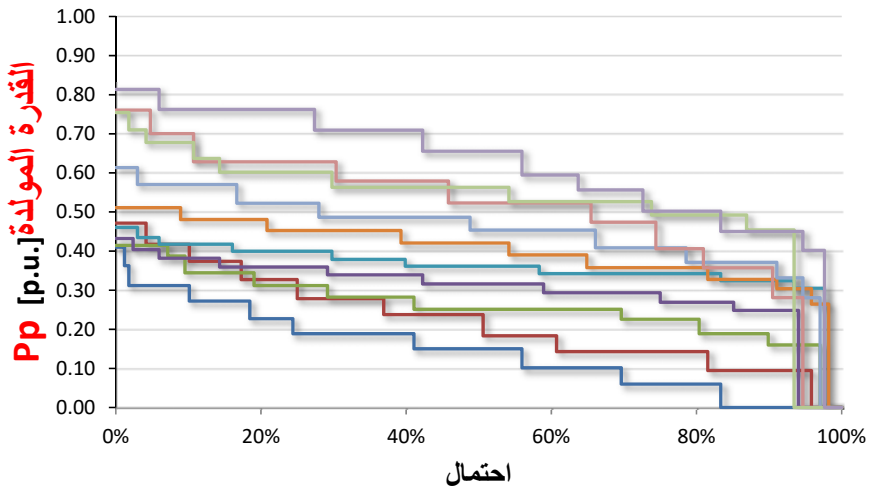
*United Nations (2015), Framework Convention on Climate Change, "Adoption of the Paris Agreement", Conference of the Parties, twenty – first session (COP21), Paris, 30 Nov-11 Dec.,2015.*

*Valente,M.; Carlini, E.M.;Canever, D.; Cova, B.; Provenzano, D. (2008). "Probabilistic Approach for Network Planning Coping with Sharp Increase of Wind Generation Applications to Italian Case". C6–111 CIGRE 2008.*

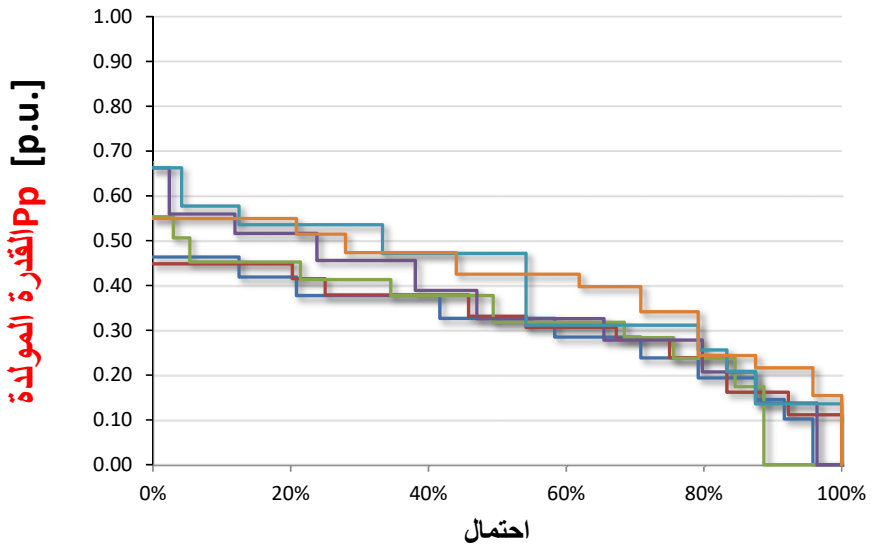
# الملحق

الخصائص الاحصائية للرياح في دول المجموعة الأولى

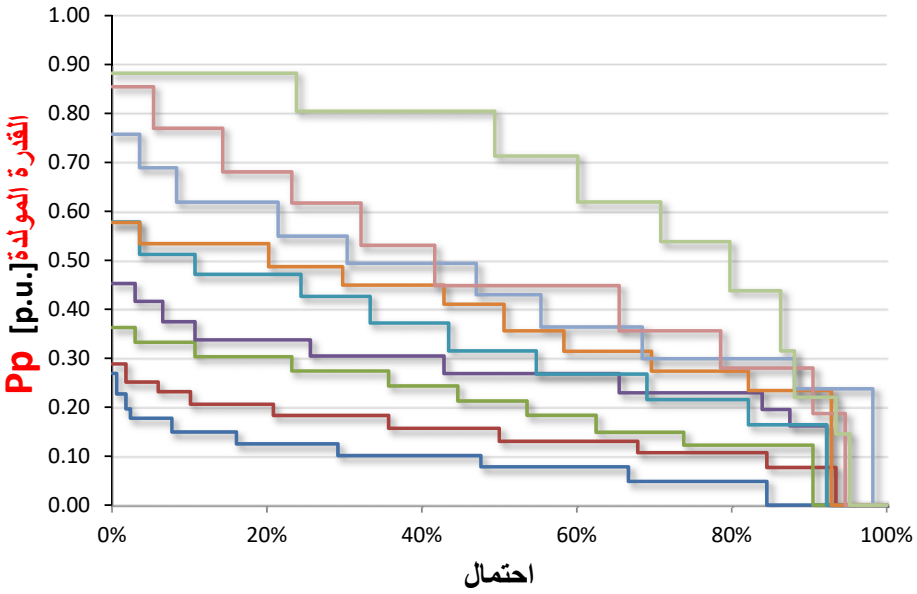
**المغرب:**




**الجزائر:**

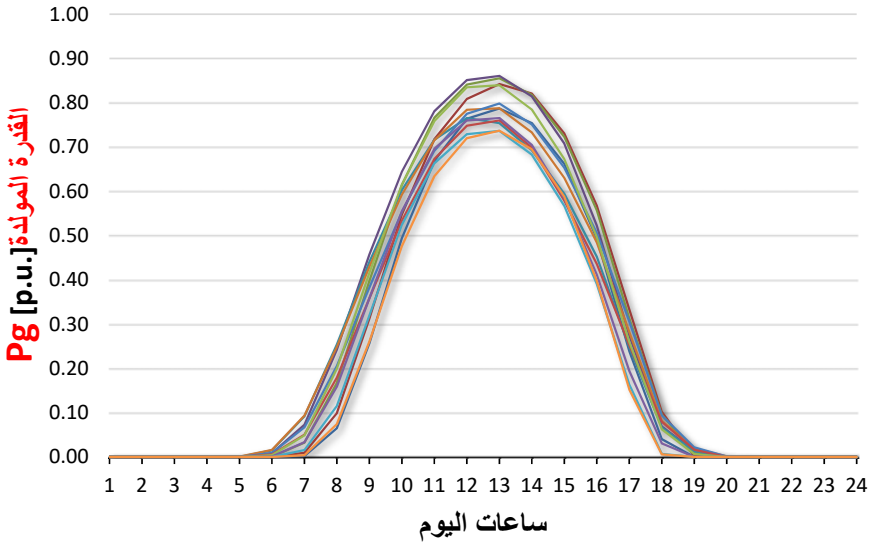


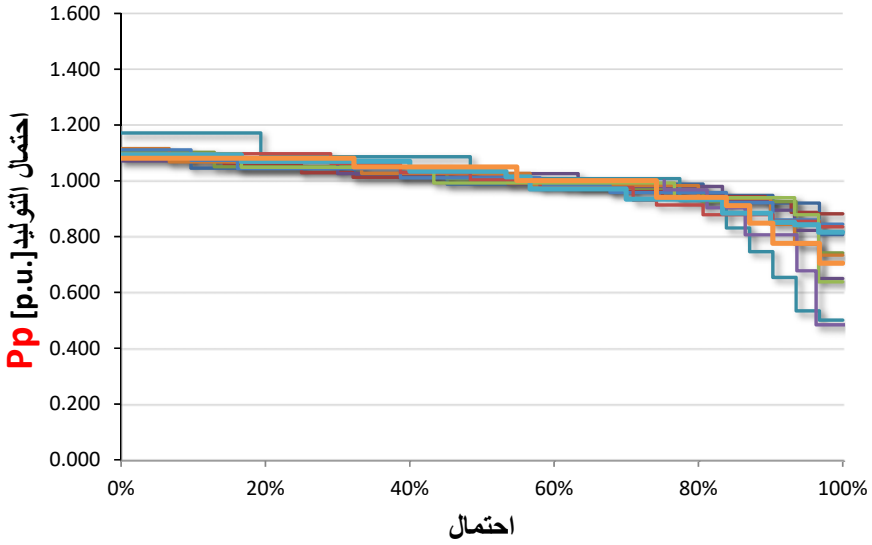
**تونس:**


1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
Pp [p.u.] القدرة المولدة
0%
20%
40%
60%
80%
100%
احتمال

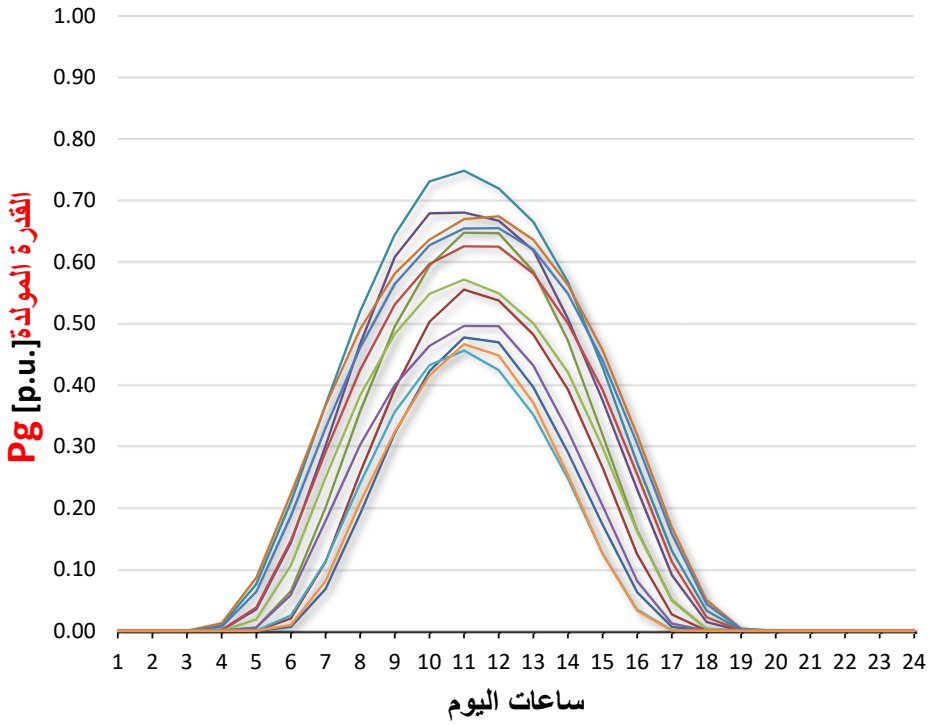
## الخصائص الاحصائية للطاقة الشمسية في دول المجموعة الأولى

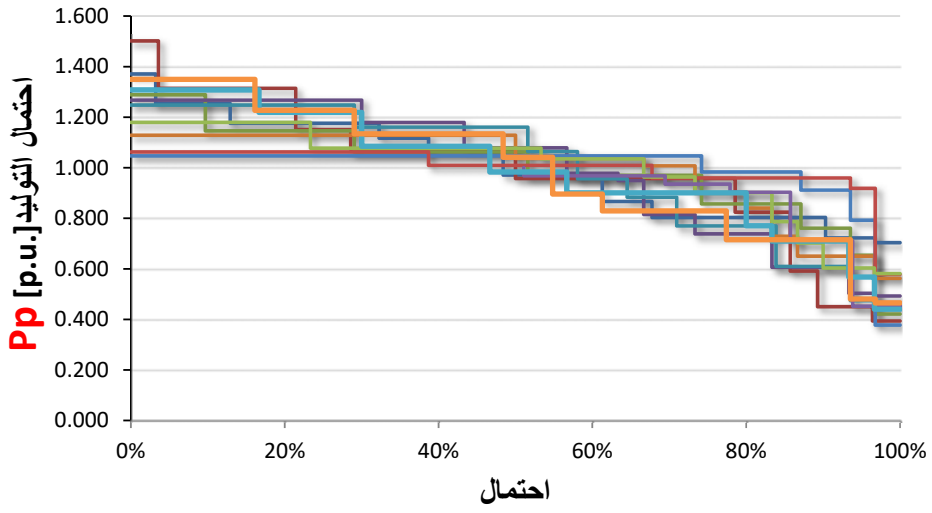
**المغرب:**



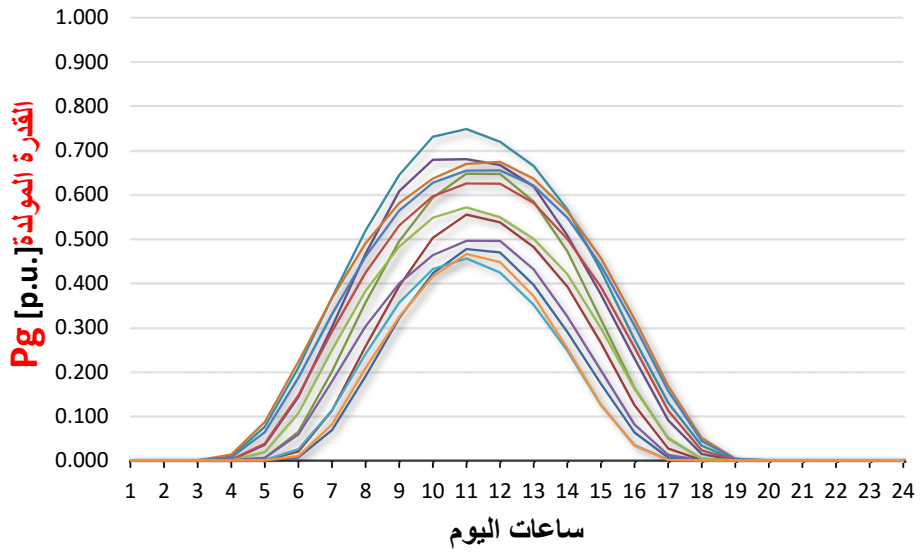



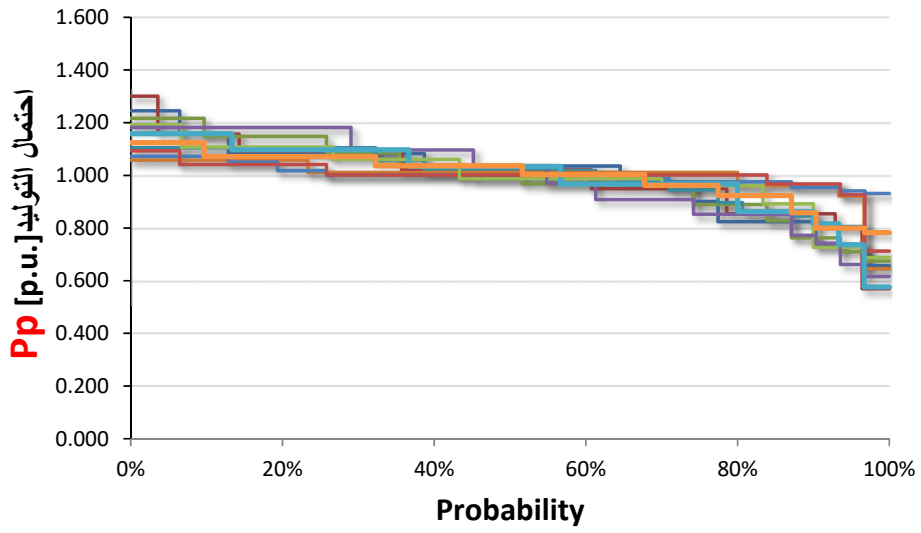
**الجزائر:**


1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
Pg [p.u.] القدرة المولدة
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
ساعات اليوم


1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
Pp [p.u.] احتمال التوليد
0% 20% 40% 60% 80% 100%
احتمال

**تونس:**


القدرة المولدة Pg [p.u.]
1.000
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
ساعات اليوم


احتمال التوليد Pp [p.u.]
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
0%
20%
40%
60%
80%
100%
Probability

البحـــث الثالث

# مصادر الطاقات المتجددة في العالم العربي واستخداماتها في التوليد الكهربائي

د. محمد فرحات *

* مستشار مهندس، الصندوق العربي لإنماء الاقتصادي والاجتماعي

ورقة مقدمه إلى مؤتمر الطاقة العربي الحادي عشر - «الطاقة والتعاون العربي» - مراكش - المملكة المغربية (1-4 أكتوبر 2018)

## مقدمـــة

تتنـاول هذه الورقـة مصـادر الطاقـات المتجـددة فـي العـالم وخصـائص كـل منهـا واسـتخداماتها فـي التوليـد الكهربـائي. وتسـتعرض الورقـة الأهداف المعلنـة مـن جانـب الـدول العربيـة للتوسـع فـي التوليـد الكهربـائي باسـتخدام تلك المصـادر، والمشـاريع التـي اكتملـت، والمشـاريع الجـاري تنفيذها، وتلك المخطـط لهـا، وذلـك لتحقيق تلك الأهداف.

تسعى الورقة إلى الإجابة على عدد من التساؤلات حول التقدم الذي تم إحرازه من جانب الدول العربية في تحقيق الأهداف المعلنة للطاقات المتجددة، ومدى مساهمة القدرات التي سيتم تركيبها في تلبية الطلب المتزايد على القدرة والطاقة في كل دولة عربية، وحجم التوفير في استهلاك الوقود الذي سوف ينتج نتيجة للاستغناء عن تشغيل وحدات توليد حرارية قائمة والوفر في التكاليف الاستثمارية نتيجة للاستغناء عن تركيب وحدات توليد حرارية جديدة.

كما تتناول الورقة بعض الأمور الفنية الخاصة ببعض الآثار السلبية التي قد تنتج عن التوسع في إنشاء محطات توليد تعمل على الطاقات المتجددة، وكيف يمكن لمشاريع الربط الكهربائي القائمة والمستقبلية التقليل من تلك الآثار.

وفي الختام، تعرض الورقة تأثير الانخفاض المستمر في تكلفة البطاريات ومحطات التوليد الشمسية المركزة على تكلفة الإنتاج من محطات التوليد باستخدام الطاقات المتجددة، وكيف يمكن أن يؤدي ذلك إلى تعديل أهداف الدول العربية في نسب القدرات المركبة لتلك المحطات.

### 0-1 نظرة عامة

تعتبر الطاقة المحور الرئيسي لتحقيق التنمية المستدامة والاستقرار والتقدم لأي مجتمع، أخذاً في الاعتبار فعالية إدارة وتنويع مصادرها الأولية، وتحسين كفاءة وترشيد استخدامها وتوافر تكنولوجياتها، وتأمين الحصول عليها بأسعار مقبولة من جانب المستهلك.

والطاقة المتجددة هي الطاقة المستمدة من المصادر التي يمكن أن تعيد الطبيعة توليدها بشكل مستمر، وبدون تدخل الإنسان، مثل المياه وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية. وتتميز الطاقة المتجددة عن الوقود الأحفوري "بترول، فحم وغاز طبيعي" بأن مصادرها طبيعية وغير ناضبة، ومتوفرة في الطبيعة، ومتجددة باستمرار، كذلك فهي طاقة نظيفة لا يترتب على إنتاجها تلوث بيئي.

تتمتع الدول العربية بوفرة كبيرة في مصادر الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، حيث تقع معظم الدول العربية في منطقة الحزام الشمسي، متمتعة بأعلى فيض إشعاعي شمسي على مستوى

العالم. كما تتمتع معظم دول المنطقة العربية أيضاً بإمكانات جيدة في مجال طاقة الرياح لتوليد الكهرباء، علاوة على مصادر الطاقة المائية وطاقة الكتلة الحيوية.

وفي إطار تخفيض الاستهلاك المستقبلي من النفط والغاز، وللحفاظ على البيئة وتخفيض الانبعاثات من محطات التوليد الحرارية، توجه العديد من الدول العربية إلى زيادة الاعتماد على التوليد الكهربائي من محطات التوليد التي تعمل على الطاقات المتجددة. وقد حققت الإمارات والأردن ومصر والسودان والمغرب وموريتانيا شوطاً كبيراً في هذا المجال، وقطعت السعودية وتونس والجزائر بعض التقدم، بينما تسعى باقي الدول العربية للتوسع في استخدام تلك الطاقات في مجال التوليد الكهربائي.

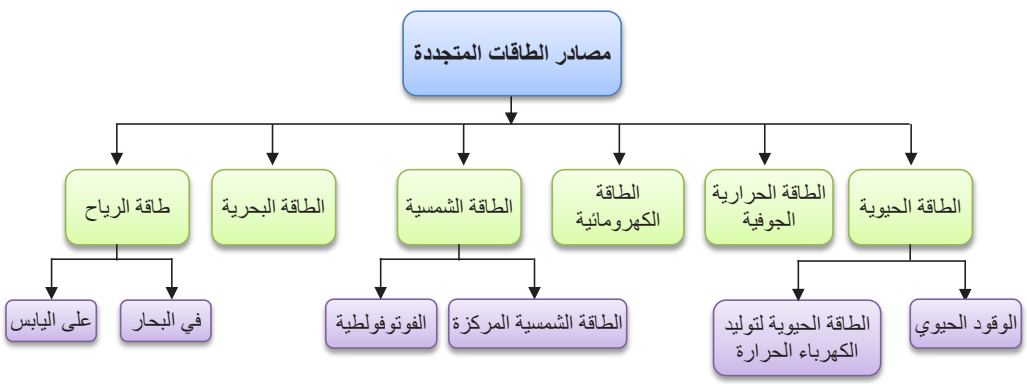
وقد قامت الدول العربية، خلال العقدين الماضيين، بربط أغلب شبكات الكهرباء لديها على التوترات المختلفة، إلا أن نسب الاستفادة من شبكات الربط القائمة لا تتجاوز 10% من سعات الخطوط. وعليه، تمثل مشاريع التوليد باستخدام الطاقات المتجددة فرصةً جيدةً لزيادة نسب استغلال خطوط الربط القائمة، حيث يمكن استغلال خطوط الربط، مثلاً، لتقليل التذبذبات في مستوى التوليد من محطات التوليد التي تعمل بطاقة الرياح، حيث أن احتمال توقف كافة التربينات الهوائية، في كل الدول العربية، عن العمل في وقت واحد ضئيل للغاية.

## 0-2 مصادر الطاقات المتجددة واستخداماتها للتوليد الكهربائي

### 1-2 استعراض لمصادر الطاقات المتجددة عالمياً

تتوزع مصادر الطاقات المتجددة فيما بين طاقة الرياح والطاقة البحرية والطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الجوفية والطاقة الحيوية، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (1).

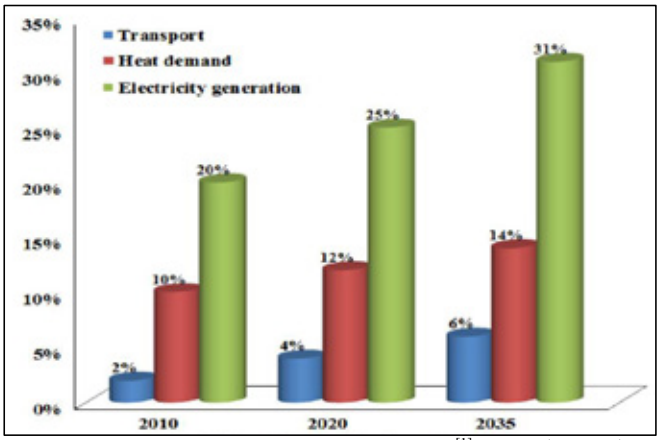
**الشكل رقم (1): مصادر الطاقات المتجددة**



قدرت إحدى الدراسات[1] أن تلك الطاقات المتجددة تكفي لتغطية كافة احتياجات العالم من الطاقة آلاف المرات، وأن الطاقة المولدة من الشمس وحدها يمكنها تغطية احتياجات العالم من الطاقة أكثر من 3000 مرة، بينما يمكن لطاقة الرياح أن تغطي حوالي 200 ضعف احتياجات العالم الحالية من الطاقة، وبالمثل بالنسبة لباقي مصادر الطاقات المتجددة الأخرى.

وتتم الاستفادة من مصادر الطاقات المتجددة، بصفة أساسية، في ثلاثة مجالات، وهي النقل والتسخين وتوليد الكهرباء. ساهمت مصادر الطاقات المتجددة في تلبية حوالي 20% من احتياجات العالم من الطاقة الكهربائية عام 2010، ومن المتوقع أن ترتفع تلك المساهمة إلى حوالي 25% عام 2020 وإلى حوالي 31% عام 2035، وبالمثل بالنسبة لمجالي النقل والتسخين، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (2).

**الشكل رقم (2): نسب استخدامات الطاقات المتجددة في المجالات المختلفة**




المصدر: المرجع رقم[1].

وقد قدرت دراسة أخرى[2] أن العالم العربي يتمتع بقدرات متجددة يمكنها توليد حوالي 630 ألف ت.و.س. سنوياً، وهو ما يعادل 80 ضعفاً لاحتياجات كل من العالم العربي والدول الأوروبية من الطاقة الكهربائية في عام 2050، وأن الجزء الأعظم من هذه القدرات يتمثل في الطاقة الشمسية.

### 2-2 التوليد باستخدام الطاقة الكهرومائية

تتميز محطات القوى التي تنتج الكهرباء من السدود بدرجة كفاءة عالية، وعادة ما تكون تكلفة التوليد الكهرومائي أقل من تكلفة التوليد من أية مصادر أخرى، نظراً لأن عمر السدود قد يصل إلى أكثر من مائة عام، كما أن التكاليف التشغيلية لمحطات التوليد الكهرومائي الملحقة بالسدود أقل بكثير من التكاليف التشغيلية لمحطات التوليد الحراري. عادة ما يتم استخدام التوليد الكهرومائي لغرضين، الأول هو تلبية جزءً من حمل القاعدة، نظراً لانخفاض تكلفة التوليد منه، والثاني هو الاستجابة لأية تغيرات في الأحمال أو

في التوليد، حيث يمكن، عن طريق تغيير اتجاه شفرات التربينات، زيادة أو تخفيض القدرة المولدة من التربينة، بسرعة كبيرة. وعليه، فإن وجود توليد كهرومائي في دول مثل مصر والمغرب يعد من أفضل الوسائل لتخفيض تأثير التذبذبات في مستوى التوليد من مزارع الرياح الموجودة في تلك الدول، أو المخطط إنشاؤها، كنتيجة للتغيرات غير المتوقعة في سرعة الرياح المندفعة نحو التربينات الهوائية.

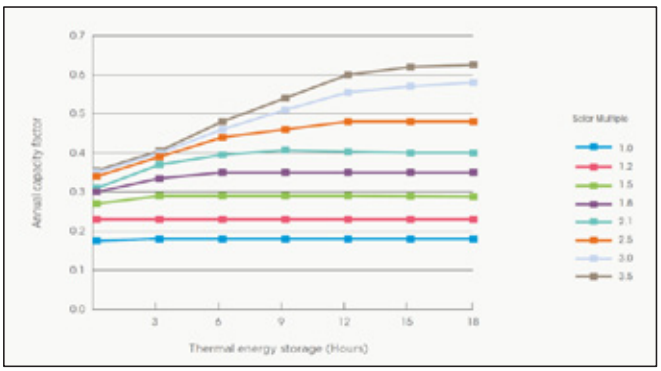
### 3-2 التوليد باستخدام الطاقة الشمسية

تزود الشمس الأرض بطاقة تزيد عن إجمالي احتياجات العالم من الطاقة بحوالي 3000 مرة، حيث أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس لمدة حوالي ساعتين تكفي احتياجات العالم لمدة عام. تتمتع المنطقة العربية بأعلى فيض إشعاع شمسي في العالم، حيث يصل متوسط كثافة الإشعاع الشمسي إلى حوالي 250 وات / متر مربع في الساعة، أي ما يعادل حوالي 6 ك.و.س./ متر مربع/ اليوم، أو 2000 ك.و.س./ متر مربع/ السنة.

تتفاوت كثافة الإشعاع الشمسي في الدول العربية من دولة لأخرى. كما تختلف كثافة الإشعاع الشمسي من منطقة لأخرى داخل الدولة الواحدة، كما تختلف بين فصلي الشتاء والصيف. على سبيل المثال، يقع أدنى مستوى لكمية الإشعاع الشمسي في شمال مصر في شهر يناير، لتلبد السماء بالسحب، حيث تتراوح كمية الإشعاع ما بين 3 و4.7 ك.و.س./ متر مربع /اليوم. أما في السعودية، فيقع أعلى معدل للإشعاع الشمسي في الجزء الغربي من المملكة، القريب من الحدود الأردنية. يلاحظ أن هذه الأرقام تتجاوز الأرقام المشابهة في الدول الغربية، حيث لا يتعدى متوسط كثافة الإشعاع الشمسي حوالي 3 ك.و.س./متر مربع/ اليوم في ألمانيا وإسبانيا، وهي من الدول التي قامت بإنشاء محطات توليد كبيرة تستخدم الطاقة الشمسية.

بصفة عامة، هناك تقنيتان لتوليد الكهرباء بواسطة الطاقة الشمسية، هما التوليد باستخدام أنظمة الخلايا الفوتوفولطية، والتوليد باستخدام مركزات الطاقة الشمسية. يتم في أنظمة الخلايا الفوتوفولطية تحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية. تتميز هذه التقنية بانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة خلال العمر الافتراضي للمحطة الذي تتراوح ما بين 25 إلى 30 سنة، إلا أنه يعيبها أنها تقوم بتوليد الكهرباء أثناء فترات النهار فقط. أما بالنسبة لأنظمة مركزات الطاقة الشمسية، فيتم فيها استخدام مرايا لتركيز الطاقة الشمسية على موقع محدد، ذلك لتسخين سائل أو مادة صلبة وإنتاج بخار، يتم توجيهه إلى تربين بخاري لتوليد الكهرباء. يتميز هذا النظام بأنه يمكنه توليد كهرباء أثناء النهار ولمدة حوالي 4 ساعات إضافية، بعد غروب الشمس، نتيجة لاحتفاظ السائل (المادة الصلبة) الذي يجري تسخينه بواسطة الأشعة المسلطة عليه بدرجة حرارة مرتفعة لهذه الفترة، إلا أن تكلفة التوليد بواسطة نظام مركزات الطاقة الشمسية عادة ما تكون حوالي ضعف تكلفة التوليد باستخدام أنظمة الخلايا الفوتوفولطية، كما ترتفع التكلفة الاستثمارية لمحطات التوليد باستخدام هذا النظم كلما ازدادت ساعات التخزين، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (3).

**الشكل رقم (3): ارتفاع تكلفة التوليد من محطات الطاقة الشمسية المركزة عند زيادة ساعات التخزين أو معامل سعة التوليد**




المصدر: الوكالة الدولة للطاقة المتجددة (IRENA).

## 4-2 التوليد باستخدام طاقة الرياح

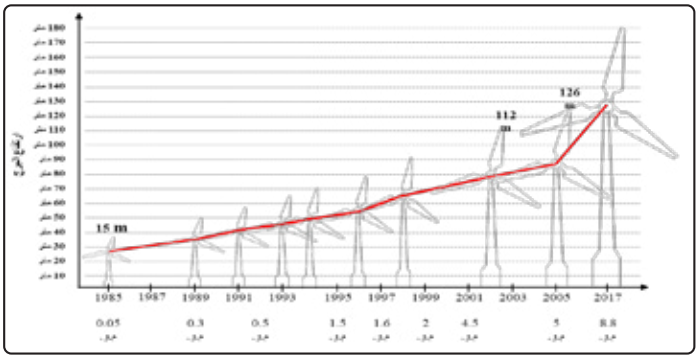
يتم في محطات توليد الكهرباء التي تستخدم طاقة الرياح تحويل طاقة الرياح الحركية إلى طاقة كهربائية، من خلال تسبب تدفق الهواء في تدوير مجموعة من الشفرات ذات تصميم انسيابي يشبه كل منها إلى حد كبير جناح الطائرة.

تبدأ التربينات عادة في توليد الكهرباء عندما تصل سرعة الرياح إلى حوالي 3 أو 4 متر/ الثانية، ومن ثم ترتفع القدرة المولدة منها تدريجياً مع ارتفاع سرعة الرياح لتصل إلى أعلى مستوى للتوليد عند سرعة ما بين 10 و14 متر/ الثانية. يظل التوليد في حدود هذه القدرة مع زيادة السرعة حتى تصل سرعة الرياح إلى أقصى حد من الممكن أن تتحمله مكونات وأجزاء التربينة من حيث الإجهادات الميكانيكية، وهو عادة ما يكون حوالي 25 متر/ الثانية. عندها، يجب استخدام الفرامل وإيقاف التربينة عن العمل.

تتركز طاقة الرياح في العالم العربي في مناطق بعينها، ولا تتوفر في كل مكان. على سبيل المثال، فإن دولاً مثل مصر والمغرب وعُمان لديها مواقع بها متوسط سرعات رياح سنوي يتراوح ما بين 9 و11 متراً في الثانية، خلال فترات طويلة من العام. وتوجد كذلك في تلك الدول مواقع بها متوسط سرعات رياح سنوي يتراوح ما بين 7 و8 متراً في الثانية، وبالتالي فهي تصلح لتوليد الكهرباء، ولكن بمعاملات سعة توليد أقل، وبالتالي بتكلفة توليد أعلى.

وقد شهدت السنوات الماضية زيادة في قدرة التوليد التي يمكن توليدها من التربينة الواحدة بسبب تطور التقنيات، وما صاحب ذلك من ارتفاع في أطوال الأبراج. على سبيل المثال، كانت أكبر قدرة توليد يمكن الحصول عليها من التربينة، عام 1995، حوالي 1.5 م.و.، بارتفاع للبرج حوالي 50 متراً. وقد ارتفع هذان الرقمان بصفة مضطردة إلى حوالي 8.8 م.و.، وارتفاع حوالي 126 متراً، على التوالي، في عام 2017، الشكل رقم (4).

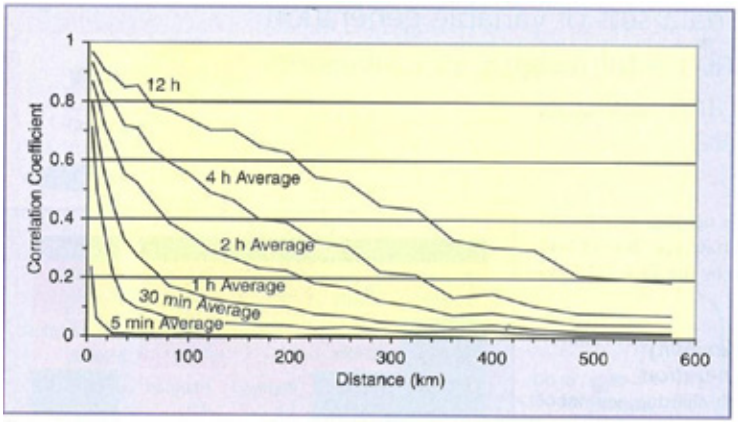
**الشكل رقم (4): تطور أطوال أبراج التربينات الهوائية والقدرة المولدة منها (2017-1985)**




المصدر: ورقة فنية من إعداد شركة إي.بي.بي. حول محطات التوليد التي تعمل بطاقة الرياح.

ويوضح الشكل رقم (5) مدى تأثر الارتباط (Correlation) بين محطتي توليد هوائيتين بالمسافة التي تبعدهما عن بعضهما.

**الشكل رقم (5): تأثير المسافة بين محطتي توليد هوائيتين على معامل الارتباط بينهما**




المصدر: المرجع رقم[2].

على سبيل المثال، لو تم إنشاء المحطتين بالقرب من بعضهما، فإنهما تكونان مرتبطان بشكل كامل (100% Co-efficient of Correlation)، بحيث ستتوقفان عن العمل في وقت واحد لو انخفضت سرعة الرياح في منطقة المحطتين عن 3 متر/ الثانية. وينخفض معامل الارتباط كلما ازدادت المسافة بين محطتي التوليد، بحيث لا يكون أي ارتباط يذكر بينهما في حال تم إنشاؤهما على مسافة أكثر من 400 كم.

### 5-2 التوليد باستخدام الطاقات المتجددة الأخرى

تشمل مصادر الطاقات المتجددة الأخرى الطاقة الحرارية الجوفية، والوقود الحيوي، وغيرها. والطاقة الحرارية الجوفية هي طاقة حرارية تولدت وتم تخزينها في باطن الأرض. ويعود مصدرها الأساسي من عمليات تحلل عضوي لبعض العناصر في مركز الأرض، وجزء صغير منها مصدره الحرارة المصاحبة لنشأة الأرض، التي تصل درجة حرارة مركزها إلى حوالي 5000 درجة مئوية. تنشأ من هذه الحالة تيارات مستمرة من الغازات، أهمها الهيليوم ونظائره، تحمل معها الطاقة الحرارية، وتتجه بها نحو سطح الأرض. تقوم هذه التيارات بصهر بعض الصخور مكونة ما يسمى بالصهارة، التي تنقل حرارتها إلى المياه الجوفية التي قد تصل درجة حرارتها إلى 370 درجة مئوية.

أوضحت الأبحاث والاستكشافات ودراسات الجدوى بأن محطات توليد الكهرباء التي تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية اقتصادية التكلفة وذات اعتمادية عالية وذات إنتاج مستمر، كما أنها صديقة للبيئة. وعليه، فهي تصلح كوحدات توليد لتلبية الأحمال الأساسية على الشبكة، لكونها محصنة عموماً من تقلبات الطقس والتباين الموسمي، اللذين يعاني منهما التوليد الشمسي الفوتوفولطي والتوليد بواسطة طاقة الرياح.

أما الوقود الحيوي، فهو وقود يستخلص من بعض المحاصيل الزراعية، وأشهر أنواعه هو الديزل الحيوي والإيثانول، حيث يستخدما في تشغيل المحركات والمركبات وتوليد الكهرباء داخل خلايا الوقود. وحتى الآن، لم يتم استخدام الوقود الحيوي بصورة كبيرة لتوليد الكهرباء في الدول العربية.

### 6-2 أهمية اختيار مواقع مشاريع الطاقات المتجددة

يعتبر اختيار موقع المشروع أحد أهم هذه الأمور، حيث يجب أن تتوفر في الموقع عدة عوامل مثل ارتفاع مستوى الإشعاعات الضوئية وقلة السحب على مدار العام وقرب الموقع من شبكة الكهرباء. وعليه، عادة ما تتم الاستعانة بالخرائط الدولية التي توضح مستوى الإشعاعات الشمسية لاختيار أفضل المواقع، ثم يلي ذلك أخذ قياسات لمدة عام في الموقع الذي يتم تحديده، وذلك لتقدير بدرجة عالية من الاعتمادية كمية الطاقة المتوقع توليدها من الموقع، وتكلفة المشروع وجدواه الاقتصادية، مع الأخذ في الاعتبار أن كفاءة التوليد من الخلايا الفوتوفولطية تنخفض بمعدل حوالي 1% سنوياً خلال عمر المشروع، الذي يقدر عادة بحوالي 20 عاماً.

بالنسبة لمحطات التوليد التي تعمل بطاقة الرياح، فيلزم أيضاً عمل قياسات لسرعة واتجاه الرياح خلال عام كامل، حيث تكون أفضل المواقع تلك التي تكون فيها سرعة الرياح ثابتة بقدر الإمكان طوال العام، وأن يكون متوسطها من 7 إلى 10 متر/ الثانية وأن تهب في اتجاه واحد.

أما بالنسبة للمناطق النائية، غير المرتبطة بالشبكة الكهربائية، والتي لا توجد فيها إمكانية للتوليد الهوائي، فيتم فيها إنشاء محطات توليد هجينة. تتكون تلك المحطات من جزئين، الأول هو محطة توليد شمسية فوتوفولطية تقوم بتوليد الكهرباء خلال ساعات النهار، والثاني هو محطة توليد ديزل يتم تشغيلها أثناء

الليل، أو في حالة مرور سحب فوق المحطة الشمسية، حيث تؤدي تلك السحب إلى انخفاض مستوى التوليد من المحطة الشمسية إلى حوالي الثلث. وعليه، فإن تكلفة التوليد من محطات التوليد الهجية عادة ما تكون في حدود 9-10 سنت/ ك.و.س. مقارنة بحوالي 5-6 سنت/ ك.و.س. لمحطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية (بدون تخزين).

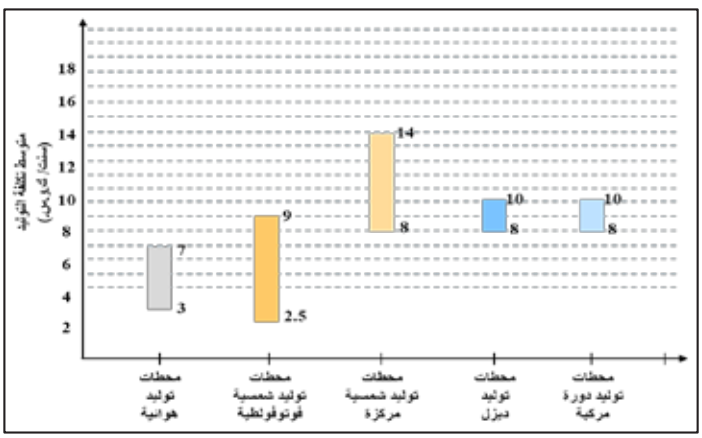
كما يمكن لشركات الكهرباء المزج بين التوليد الشمسي والتوليد الهوائي، إذ عادة ما يكون التوليد الشمسي في أعلى مستوياته في ساعات الظهيرة، بينما يبدأ مستوى التوليد الهوائي في الارتفاع عند حوالي الساعة السادسة مساءً ويستمر عند مستوى مرتفع حتى ساعات الصباح الباكر.

## 0-3 تكلفة التوليد من مصادر الطاقات المتجددة مقارنة بتكلفة التوليد الحراري

تعتمد تكلفة التوليد من محطات التوليد من مصادر الطاقات المتجددة على عدة عوامل، منها حجم المشروع، وطبيعة المنطقة، ونوع التمويل، والتسهيلات المقدمة من الدولة لتشجيع الاستثمار في تلك المحطات.

عادة ما تتراوح تكلفة التوليد الهوائي ما بين 5 و7 سنت/ ك.و.س.، إلا أنها يمكن أن تنخفض حتى حوالي 3 سنت/ ك.و.س. عندما يتجاوز معامل سعة التوليد حوالي 50%. أما بالنسبة للتوليد الشمسي الفوتوفولطي، فتتراوح تكلفته ما بين 5 سنت/ ك.و.س. و9 سنت/ ك.و.س.، اعتماداً على حجم المحطة. على سبيل المثال، تكون تكلفة التوليد في حدود 9 سنت/ ك.و.س. لمحطات توليد صغيرة، ذات قدرات تتراوح بين 10 إلى 20 م.و.، وتنخفض إلى حوالي 3 سنت/ ك.و.س.، بالنسبة لمحطات عملاقة، إجمالي قدراتها في حدود 800 م.و.، الشكل رقم (6).

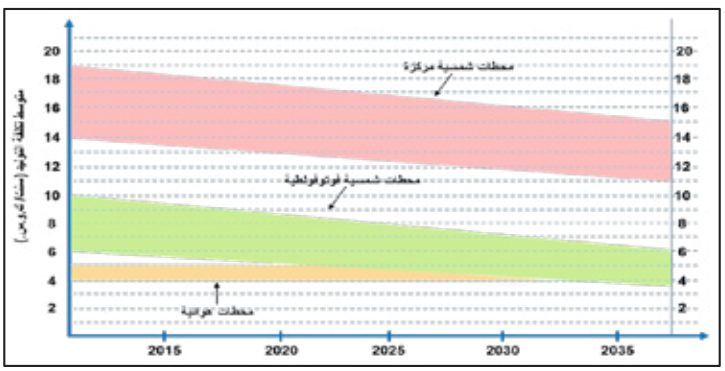
**الشكل رقم (6): متوسط تكلفة التوليد من محطات التوليد المختلفة**




المصدر: مؤسسة فراونهوفر لنظم الطاقة الشمسية، تكلفة التوليد من محطات الطاقة المتجددة.

وكنتيجة للتطورات الكبيرة المتوقعة في كفاءة الألواح الضوئية المستخدمة في محطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية، وانخفاض تكاليف إنتاجها مع زيادة الكميات المصنعة منها، فمن المتوقع أن ينخفض متوسط تكلفة التوليد من المحطات الفوتوفولطية، بقدرة تتراوح ما بين 50 و100 م.و.، من حوالي 5 – 10 سنت/ ك.و.س. عام 2015 إلى حوالي 3.5 – 5 سنت/ ك.و.س. عام 2035، حيث يتوقع أن يكون متوسط تكلفة التوليد، عام 2035، أقل من متوسط تكلفة التوليد من مزارع الرياح، بقدرات مشابهة، والذي من المتوقع أن يبقى عند مستوى حوالي 4 – 5 سنت/ ك.و.س.، وتكلفة التوليد من محطات الشمسية المركزة الذي سوف يتراوح ما بين 11 – 15 سنت/ ك.و.س.، الشكل رقم (7).

**الشكل رقم (7): التكلفة المتوقعة للتوليد من المحطات التي تعمل بالطاقات المتجددة**




المصدر: مؤسسة فراونهوفر لنظم الطاقة الشمسية، تكلفة التوليد من محطات الطاقة المتجددة.

من المتوقع أن يستمر متوسط تكلفة التوليد من محطات التوليد باستخدام الديزل ومحطات التوليد التي تعمل بنظام الدورة المركبة عند مستواه الحالي، حيث أن أغلب التكلفة هي تكلفة الوقود، والذي تتوقع أغلب الدراسات أن لا ينخفض سعره عن حوالي 60 دولار/ برميل في المديين القصير والمتوسط.

عليه، ستكون لمحطات التوليد الهوائية والشمسية ميزة نسبية كبيرة من ناحية التكلفة، مقارنة بمحطات التوليد الحرارية، خاصة إذا ما تم استخدام تلك المحطات مع بطاريات لتخزين الكهرباء المولدة منها، حيث سيتم شحن تلك البطاريات في الصباح، وتفريغها في المساء لزيادة معامل سعة التوليد من محطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية، ولتنظيم كمية القدرة المنتجة من مزارع الرياح عند تذبذب مستوى التوليد منها نتيجة للتغير غير المتوقع في سرعة الرياح.

## 4-0 الوضع الحالي لمنظومات الكهرباء في الدول العربية

شهدت الفترة (2005-2017) ارتفاعاً كبيراً في الطلب على الحمل الأقصى في الدول العربية، حيث ارتفع الطلب من حوالي 107 ج.و. عام 2005 إلى حوالي 210 ج.و. عام 2017، أي بمتوسط زيادة سنوية حوالي 5.8% خلال تلك الفترة. كما ارتفع إجمالي الطاقة المستهلكة خلال الفترة ذاتها من حوالي

498 ت.و.س. عام 2005 إلى حوالي 888 ت.و.س. عام 2017. أي بمتوسط زيادة سنوية حوالي 5.0%، وذلك كما هو موضح في الجدول رقم (1).

**الجدول رقم (1)**
**تطور الطلب على الحمل والطاقة المستهلكة في الدول العربية**
**خلال الفترة (2005 –2017)**

| | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|
| الطلب على الحمل الأقصى (ج.و.) | 106.6 | 152.8 | 195.3 | 204.9 | 209.9 |
| الطاقة المستهلكة (ت.و.س.) | 497.7 | 688.9 | 852.3 | 892.2 | 888.2 |

وعليه، قامت الدول العربية، خلال الفترة ذاتها، بإضافة قدرات توليد حرارية وكهرومائية وشمسية مقدارها حوالي 134.4 ج.و.، حيث بلغ إجمالي قدرات التوليد المركبة عام 2017 حوالي 288 ج.و.، يمثل ضعف إجمالي قدرات التوليد المركبة عام 2005، مما تجاوز إجمالي الحمل الأقصى في الدول العربية بنسبة حوالي 27%، وهو ما يعد احتياطياً مناسباً.

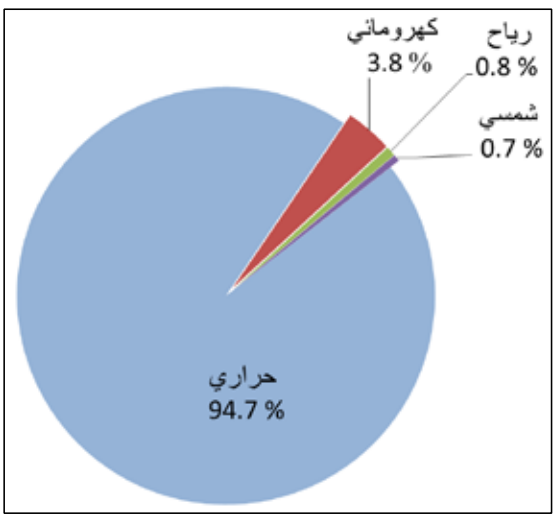
ويوضح الجدول رقم (2) تطور توزيع القدرات المركبة حسب نوع التوليد. يلاحظ أن إجمالي قدرات وحدات التوليد الحرارية ارتفع من حوالي 74 ج.و. عام 2005 إلى حوالي 251 ج.و. عام 2017، أي بمعدل نمو سنوي بلغ حوالي 10.7%، بينما ارتفع إجمالي قدرات وحدات التوليد التي تعمل على الطاقات المتجددة من حوالي 9.6 ج.و. إلى حوالي 13.6 ج.و. خلال الفترة ذاتها، أي بنسبة زيادة سنوية أقل من 3%.

**الجدول رقم (2)**
**تطور قدرات التوليد للدول العربية خلال الفترة (2005 –2017)**
**موزعة حسب نوع التوليد**

| | 2005 | 2010 | 2015 | 2017 |
|---|---|---|---|---|
| محطات التوليد الحرارية | | | | |
| - محطات بخارية | 5,898 | 56,019 | 70,752 | 68,106 |
| - محطات غازية | 49,893 | 79,833 | 85,537 | 92,703 |
| - محطات دورة مركبة | 9,787 | 28,721 | 67,700 | 80,363 |
| - محطات ديزل | 3,232 | 3,651 | 6,651 | 6,046 |
| - أخرى | 5,299 | 8,445 | 20,785 | 3310 |
| **مجموع** | **74,109** | **176,669** | **251,425** | **250,528** |
| محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة | | | | |
| - محطات شمسية | 115 | 300 | 444 | 1,189 |
| - محطات هوائية | 100 | 466 | 1,713 | 2,224 |
| - محطات كهرومائية | 9,396 | 10,500 | 10,808 | 10,164 |
| **مجموع** | **9,611** | **11,266** | **12,965** | **13,577** |
| **الإجمالـــي** | **83,720** | **187,935** | **264,390** | **264,105** |

يلاحظ أن إجمالي قدرات محطات التوليد التي تعمل بالطاقات المتجددة بلغ حوالي 5.3% من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة في عام 2017، وأن في قدرات التوليد باستخدام مصادر الطاقات المتجددة تمثلت في إنشاء محطات توليد هوائية وشمسية في عدد محدود من الدول العربية، مثل مصر والأردن والإمارات والمغرب وموريتانيا، وأنه لم يحدث تطور كبير في قدرات التوليد الكهرومائية، حيث ارتفع إجمالي قدرات محطة التوليد الكهرومائية من حوالي 9.4 ج.و. عام 2005 إلى حوالي 10.2 ج.و. عام 2017، أي بنسبة زيادة سنوية أقل من 1% ، الشكل رقم (8).

**الشكل رقم (8): توزيع قدرات التوليد في العالم العربي بين أنماط التوليد المختلفة في عام 2017**




قامت محطات التوليد التي تعمل على الطاقات المتجددة بتوليد حوالي 26.9 ت.و.س. عام 2017، مثلت حوالي 2.5% من إجمالي الطاقة المولدة في الدول العربية في ذلك العام.

من المتوقع أن يرتفع الطلب على الحمل الأقصى في الدول العربية إلى حوالي 240 ج.و. بحلول عام 2020، وإلى حوالي 345 ج.و. بحلول عام 2030، وأن يرتفع إجمالي الطاقة المولدة من وحدات التوليد الموجودة على شبكات الدول العربية إلى حوالي 1428 ت.و.س. وحوالي 2104 ت.و.س. في عامي 2020 و2030. وقد بلغ استهلاك الدول العربية، عام 2017، حوالي 241 مليون طن مكافئ نفط (ط.م.ن.) لأغراض توليد الكهرباء، وهو ما يعادل استهلاك حوالي 4.6 مليون برميل مكافئ نفط يومياً. واستناداً إلى دراسة فنية[1] أجريت عام 2014، فإنه لو استمر اعتماد الدول العربية بصفة شبه كاملة على التوليد الكهربائي من مصادر الطاقة الحرارية، وباستخدام سعر نفط يساوي 60 دولار للبرميل خلال الفترة التي شملتها الدراسة، فإن تكلفة الوقود اللازم للتوليد سوف تبلغ حوالي 58 مليار دولار عام 2020، ترتفع

[1] الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي (2014). "تقرير دراسة الربط الكهربائي العربي الشامل واستغلال الغاز الطبيعي".

إلى حوالي 95 مليار دولار عام 2030، وهو ما سيمثل عبئاً مالياً كبيراً على الدول العربية سواءً المستوردة للنفط أو المنتجة والمصدرة له، بإضاعة الفرصة البديلة المتمثلة في تصدير هذا الوقود.

## 5-0 التوليد الكهربائي في الدول العربية باستخدام مصادر الطاقات المتجددة

### 5-1 تفاوت فرص التوليد في الدول العربية

تتفاوت الدول العربية في مصادر الطاقة المتجددة الموجودة لديها، وفي مدى مناسبة كل من تلك المصادر لمناخ الدولة وطبيعتها الجغرافية. وقد تمكنت كل من مصر وسورية والعراق والجزائر من الاستفادة شبه الكاملة من مصادر التوليد المائي في أراضيها، وتتبقى فرص للتوليد الكهرومائي في السودان والمغرب. على سبيل المثال، تخطط الحكومة السودانية لإنشاء ثلاثة سدود رئيسية على نهر النيل إجمالي قدراتها حوالي 2500 م.و.، إلا أنه لا يتوقع أن يتم اكتمال تنفيذ أي من هذه السدود قبل نهاية عام 2030، نظراً لارتفاع تكلفتها وصعوبة توفير التمويل اللازم لها في المستقبل القريب.

وتتفاوت فرص الاستفادة من الطاقة الشمسية بين دولة عربية وأخرى نظراً لأن كفاءة الخلايا الضوئية تنخفض بمعدل حوالي نصف بالمائة لكل درجة حرارة تزيد عن 25 درجة مئوية، كما تنخفض كفاءة تلك الخلايا عندما تتجمع الأتربة عليها، حيث تقدر الدراسات أن القدرة المولدة منها قد تنخفض إلى النصف عند تراكم الأتربة على الخلايا الضوئية. وعليه، فإن التوليد الكهربائي باستخدام الطاقة الشمسية مناسب لدول مثل مصر والأردن وتونس والجزائر والمغرب لاعتدال درجة الحرارة فيها، بينما هو أقل مناسبة في دول الخليج لارتفاع درجة الحرارة فيها ووجود العديد من العواصف الرملية.

أما بالنسبة للتوليد بواسطة طاقة الرياح، فيتركز في المناطق الساحلية، على الأخص في دول شمال إفريقيا. كما توجد فرص جيدة لتوليد الكهرباء من طاقة الرياح في سلطنة عمان.

### 5-2 الأهداف المعلنة من جانب الدول العربية لتوليد الكهرباء باستخدام مصادر الطاقات المتجددة

قام العديد من الدول العربية، خلال الأعوام الماضية، بإعلان أهدافها لزيادة الاعتماد على التوليد الكهربائي باستخدام مصادر الطاقات المتجددة، وذلك كما هو موضح في الجدول رقم (3).

**الجدول رقم (3)**
**الأهداف المعلنة لبعض الدول العربية لزيادة الاعتماد على محطات الطاقات المتجددة**

| الـــدول | مجموع القدرات المركبة لمحطات تعمل بالطاقات المتجددة | نسبة القدرات المركبة لمحطات الطاقات المتجددة لإجمالي قدرات التوليد على الشبكة (%) | أفق الخطة |
|---|---|---|---|
| الأردن | 1,750 | 10 (طاقة أولية) | 2020 |
| الإمارات (دبي) | 5,000 | 25 | 2030 |
| البحرين | 250 | 5 | 2030 |
| تونس | 3,725 | 30 | 2030 |
| الجزائر | 21,600 | 37 | 2030 |
| السعودية | 54,000 | 30 | 2040 |
| قطر | 1,800 | 20 | 2030 |
| الكويت | 11,000 | 15 (طاقة منتجة) | 2030 |
| لبنان | 950 | 12 (طاقة منتجة) | 2020 |
| المغرب | 10,090 | 52 | 2030 |
| مصر | 9,500 | 20 (طاقة منتجة) | 2022 |

المصدر: تقارير مختلفة للمركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة.

وقد اختلف هذا التوزيع، بين مصادر الطاقات المختلفة من دولة لأخرى، حيث توزعت الخطة الجزائرية على النحو التالي: 23.2% قدرات رياح، 62.8% قدرات توليد من محطات توليد شمسية فوتوفولطية، 9.3% قدرات توليد من محطات توليد شمسية مركزة، 4.6% من قدرات توليد باستخدام الكتلة الحيوية، و 0.1% من محطات توليد تعمل بالطاقة الحرارية الجوفية، بينما تركزت خطط التوليد باستخدام الطاقات المتجددة في الكويت والبحرين وقطر على التوليد باستخدام الطاقة الشمسية (الفوتوفولطية والمركزة).

### 3-5 المشاريع التي اكتملت وتلك الجاري والمخطط تنفيذها

**الأردن:** شهدت الفترة (2008-2011)، اعتماد الأردن على الغاز الطبيعي المصري لتوليد الكهرباء من خلال خط الغاز العربي الذي تم إنشاؤه لتصدير الغاز المصري إلى كل من الأردن وسورية وتركيا وقبرص، حيث قامت الحكومة الأردنية بتحويل محطة توليد العقبة لتعمل على الغاز الطبيعي، بدلاً من زيت الوقود الثقيل، وإنشاء محطة تحويل السمرا الحكومية، والسماح للقطاع الخاص بإنشاء محطتي توليد شرق عمّان والقطرانة، والتي تعمل كلها بنظام الدورة المركبة، وتستخدم الغاز الطبيعي المستورد من الشبكة المصرية كوقود.

إلا أنه نتيجة عدم انتظام إمدادات الغاز المصري، ولانخفاض مستوى إنتاج الحقول المصرية خلال الفترة (2012 – 2017)، فقد انخفض مستوى الغاز المصري المُصدر إلى الأردن إلى أقل من 6% من مستواه

في عام 2010، مما سبب مشاكل كثيرة لمنظومة التوليد في الأردن، حيث اضطرت الحكومة الأردنية إلى استيراد زيت الغاز الخفيف، مرتفع التكلفة، لتشغيل تلك المحطات، مما أدى لتكبد الحكومة خسائر تقدر بحوالي 1.5 مليار دولار سنوياً نتيجة لارتفاع تكلفة التوليد وعدم قدرتها على رفع سعر الكهرباء، بالمقابل، لتغطية الزيادة في التكاليف.

تمثلت خطة الحكومة الأردنية، للتغلب على تلك المشكلة، في المضي قدماً على مسارين: الأول هو إنشاء محطات ديزل، تعمل على زيت الوقود الثقيل، لتلبية أحمال القاعدة، والثاني إنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة لتخفيض استهلاك الوقود. وعليه، قامت الحكومة الأردنية بإنشاء مزرعة رياح الطفيلة بقدرة 117 م.و.، التي دخلت في الخدمة في نهاية عام 2015، وشكلت أول محطة توليد بالطاقات المتجددة يتم تنفيذها بعد صدور قانون الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة الذي قامت الحكومة بإصداره عام 2010، والذي ينص على أن تبلغ قدرة التوليد المركبة من محطات الطاقة المتجددة 10% من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة بحلول عام 2030.

يقوم القطاع الخاص بالدور الرئيسي في إنشاء هذه المحطات، بالاستعانة بقروض من مؤسسات التمويل الدولية مثل البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية (EBRD)، والذي قام بتمويل حوالي عشرة مشاريع للطاقات المتجددة في الأردن حتى الآن، إجمالي قدراتها حوالي 800 م.و.

شهد عام 2016 دخول مزرعة الملك حسين الهوائية بقدرة 80 م.و. في الخدمة، إضافةً إلى ثلاث محطات توليد شمسية فوتوفولطية، إجمالي قدراتها 180 م.و. ومن المتوقع أن تدخل محطة "القويرة" الفوتوفولطية، بقدرة 103 م.و.، في الخدمة عام 2018، وأن تشهد الفترة 2019 – 2021 دخول 7 مزارع أخرى للرياح و12 محطة توليد شمسية أخرى في الخدمة، بحيث يتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات التوليد لمحطات الطاقات المتجددة في الخدمة، بحلول عام 2030، حوالي 1930 م.و.، منها 715 م.و. مزارع رياح و1203 م.و. من محطات توليد شمسية فوتوفولطية، و12 م.و. محطات توليد كهرومائية. سوف يشكل إجمالي قدرات التوليد من المحطات الهوائية والشمسية، في ذلك العام، حوالي 29.2% من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة في ذلك العام.

**<u>الإمارات:</u>** بلغ الحمل الأقصى في الإمارات عام 2017 حوالي 24.4 ج.و.، تمت تلبية أكثر من 99% منه بواسطة وحدات توليد حراري تستخدم الغاز الطبيعي. وبالنظر إلى أن جزءاً كبيراً من ذلك الغاز يتم استيراده من قطر، من خلال خط أنابيب "دولفين"، ولأن الطلب على الكهرباء في الإمارات يتوقع أن يزداد بمعدل سنوي متوسط يبلغ حوالي 4.3% خلال الفترة 2018 – 2025، تركزت جهود الحكومة الإماراتية في تنويع مصادر التوليد باستخدام مصادر الطاقة الشمسية.

وعليه، قامت هيئة المياه والكهرباء في أبوظبي، عام 2014، بإنشاء محطة توليد شمس "1" التي تعمل بنظام الطاقة الشمسية المركزة، بقدرة 100 م.و.، والتي كانت عند افتتاحها، تعد من أكبر محطات التوليد

الشمسية المركزة في العالم. وقامت الهيئة، عام 2017، بالتعاقد مع تجمع لإنشاء محطة توليد شمسية فوتوفولطية في منطقة سويحان بقدرة 1177 م.و. من المقرر أن تدخل هذه المحطة في الخدمة عام 2019، وأن يكون السعر الذي تشتري به الهيئة الكهرباء من التجمع هو 2.4 سنت/ ك.و.س.، والذي يعد من أرخص أسعار الكهرباء لمحطات شمسية فوتوفولطية.

وبالمثل، قامت هيئة دبي للكهرباء والمياه بالتعاقد على العديد من محطة التوليد الشمسية، كلها في مجمع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية، دخل بعضها في الخدمة وجاري تنفيذ البعض الآخر، الجدول رقم (4).

**الجدول رقم (4)**

**خطوات تنفيذ مشروع مجمع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية**

| المرحلة | الجزء | القدرة المركبة (م.و.) | عام الدخول في الخدمة | نوع التقنية | سعر الكهرباء (سنت/ ك.و.س.) |
|---|---|---|---|---|---|
| الأولى | | 13 | 2013 | فوتوفولطية | غ.م. |
| الثانية | | 200 | 2017 | فوتوفولطية | 5.84 |
| الثالثة | الأول<br>الثاني<br>الثالث | 200<br>300<br>300 | 2018<br>2019<br>2020 | فوتوفولطية<br>فوتوفولطية<br>فوتوفولطية | 2.99 |
| الرابعة | | 700 | 2020 | طاقة شمسية مركزة | 7.3 |
| (مستقبلية) | | 3287 | 2030-2010 | غ.م. | |
| **المجموع** | | **5000** | | | |

يلاحظ الانخفاض الكبير في سعر شراء الكيلووات ساعة بين المرحلة الثانية والمرحلة الثالثة. كما يعد السعر الذي حصلت عليه الهيئة لشراء الكهرباء المولدة من المرحلة الرابعة للمجمع من أرخص الأسعار للطاقة الكهربائية المولدة من محطات توليد تعمل بنظام الطاقة الشمسية المركزة.

ولا توجد بيانات حول اعتزام الإمارات الأخرى في دولة الإمارات المتحدة إنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة. وعليه، فمن المتوقع، بحلول عام 2030، أن يكون إجمالي قدرات التوليد، من محطات الطاقة المتجددة، حوالي 6,500 م.و.، منها 1500 م.و. من محطات توليد شمسية في أبو ظبي، و 5000 م.و. من محطات توليد شمسية في دبي. سوف يشكل إجمالي قدرة هذه المحطات حوالي 14.3% من إجمالي قدرة التوليد في دولة الإمارات المتحدة في عام 2030، وسيشكل إجمالي الطاقة المولدة منها حوالي 4-6% من إجمالي الطاقة المولدة في الإمارات بالنظر إلى أن نصف هذه المحطات، تقريباً، سوف يستخدم تقنية الطاقة الشمسية المركزة، التي تتراوح معاملات سعاتها ما بين 50 و 70%، مقارنة بحوالي 15% لمحطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية.

**البحرين:** قامت البحرين عام 2014 بإنشاء محطة توليد بالطاقة الشمسية الفوتوفولطية بقدرة 5 م.و. تتكون المحطة من ألواح ضوئية موزعة على تسعة مواقع، وتم تركيب تلك الألواح فوق أسطح ساحات الانتظار. ويتم حالياً تنفيذ مشروع ثان بقدرة 5 م.و. في موقع بالقرب من محطة توليد الدور. سيتضمن ذلك المشروع

إنشاء محطة توليد فوتوفولطية بقدرة 3 م.و. ومحطة توليد هوائية بقدرة 2 م.و. يعتبر هذان المشروعان تجريبيان تمهيداً لإنشاء مشاريع توليد أخرى مخططة، منها مشروع لإنشاء محطة توليد شمسية بقدرة 100 م.و.، وذلك بهدف توفير 10% من احتياجات المملكة من الطاقة الكهربائية بحلول عام 2030.

**تونس:** تضمنت الخطط التي وضعتها الحكومة التونسية في نهاية عام 2009 أن يتم الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة لتلبية 4% من إجمالي احتياجات البلاد من الطاقة عام 2014، وأن يتم ذلك عن طريق القطاع الخاص. إلا أن القطاع الخاص لم يهتم بإنشاء أية مشاريع للتوليد باستخدام الطاقات المتجددة، حتى الآن، لعدد من الأسباب منها عدم إدراج مواقع لإنشاء محطات الطاقة المتجددة على الشبكة الكهربائية، وعدم إعطاء المحطات التي يقوم القطاع الخاص بإنشائها أية أفضلية عن الربط بالشبكة القومية. ومن أجل تسهيل تلك العقبات، قامت الحكومة التونسية، في نهاية عام 2016، باستحداث خطة عمل للطاقة المتجددة تهدف إلى أن يتم توليد 37% من الطاقة الكهربائية في البلاد من مصادر الطاقة المتجددة، وذلك من خلال إضافة 1000 م.و. خلال الفترة 2018-2020، و 1250 م.و. خلال القدرة 2021-2030. وعليه، من المتوقع أن ترتفع نسبة قدرات التوليد الهوائية، من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة التونسية، عام 2030، إلى حوالي 22.2% من تلك القدرات، وأن تبلغ حوالي 14.1% بالنسبة لقدرات التوليد الشمسية، وأقل من 1% لقدرات التوليد الكهرومائية.

**الجزائر:** تضمنت خطط الحكومة الجزائرية، عام 2011، إضافة حوالي 11.8 ج.و. قدرات توليد هوائية وشمسية بحلول عام 2030، كانت ستشكل حوالي 41% من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة في ذلك العام. إلا أن الحكومة الجزائرية قامت مؤخراً بتعديل برامج تطوير قدرات التوليد بحيث تشمل إضافة محطات توليد شمسية بنظام الطاقة الفوتوفولطية، بواقع 450 م.و. كل عام خلال الفترة 2022-2030. ولا توجد بيانات عن محطات التوليد باستخدام الطاقات المتجددة التي تم إنشاؤها حتى الآن، إلا أنه من المتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات التوليد من المحطات التي تعمل على الطاقات المتجددة، عام 2030، حوالي 4632 م.و.، منه حوالي 4394 م.و. قدرات توليد من محطات توليد شمسية، وحوالي 228 م.و. قدرات توليد كهرومائية، وحوالي 10 م.و. قدرات توليد من محطات توليد تعمل بطاقة الرياح، بحيث يشكل إجمالي قدرة التوليد من محطات الطاقة المتجددة حوالي 15.3% من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة بحلول عام 2030.

**جزر القمر:** قامت الحكومة القمرية بإجراء عدة دراسات جدوى لتحديد أنسب وسائل التوليد باستخدام الطاقات المتجددة لسد كل أو جزء من احتياجاتها. تمت دراسة التوليد الكهرومائي باستخدام "تدفق الأنهار"، وأوضحت تلك الدراسة أن هناك إمكانية لتوليد حوالي 10 م.و. في كل من جزيرة انجوان وجزيرة موهيلي، إلا أن تكلفة التوليد ستكون مرتفعة نتيجة لارتفاع تكلفة إنشاء السدود اللازمة نظراً لصعوبة التضاريس الجغرافية في الجزيرتين، بالإضافة إلى أنه ستكون هناك فترة تقدر بحوالي 4 أشهر من كل عام يتوقف فيها التوليد نتيجة لتوقف تدفق المياه. وعليه، تم استبعاد بديل التوليد الكهرومائي في

الوقت الراهن. وتم بعد ذلك، دراسة بديل التوليد الهوائي نتيجة لهبوب الرياح على الجزر الثلاث طوال فترات العام. إلا أن سرعة تلك الرياح قد تتجاوز 40 متر/ الثانية خلال بعض الفترات، مما يستلزم تصميماً خاصاً للأبراج، مما يجعل تكلفة التوليد الهوائي غير اقتصادية. عليه، تم الاستقرار على الاعتماد على التوليد الكهربائي باستخدام الطاقة الشمسية الفوتوفولطية. وقد تمت دراسة بديلين للتوليد الشمسي: الأول بدون تخزين والثاني عن طريق إضافة بطاريات. وأوضحت الدراسة التي أجريت في هذا الخصوص أن تكلفة إنتاج الكهرباء بواسطة البديل الأول ستكون بحدود 28 سنت/ ك.و.س.، وأنها ستكون بحدود 35 سنت/ ك.و.س. في حالة البديل الثاني. وبالرغم من أن هذه الأرقام مرتفعة، إلا أنها تظل أقل من تكلفة التوليد الحالية، باستخدام وحدات توليد ديزل صغيرة تعمل على زيت الغاز الخفيف المستورد، والتي تبلغ حوالي 40 سنت/ ك.و.س. وعليه، تعتزم الحكومة القمرية إنشاء محطة توليد تعمل بالطاقة الفوتوفولطية، في جزيرة موروني، بقدرة 2 م.و.

**جيبوتي:** نظراً لوجود مصادر للطاقة الحرارية الجوفية في بحيرة عسل التي تبعد حوالي 150 كم شرق مدينة جيبوتي، تقوم الحكومة الجيبوتية حالياً بإنشاء محطة توليد بخارية بقدرة 15 م.و. في موقع جالاكوما القريب من البحرية، وذلك كمرحلة أولى من مشروع لتوليد 100 م.و. من الموقع ذاته. ستتضمن محطة التوليد ثلاثة مولدات بخارية، بقدرة 5 م.و. لكل منها، تعمل على الحرارة المولدة من المياه الجوفية الموجودة في تلك المنطقة. من المتوقع أن تبلغ تكلفة التوليد من المحطة البخارية حوالي 7 سنت/ ك.و.س.، تعادل تكلفة استيراد الكهرباء من أثيوبيا، وتقل بدرجة كبيرة عن تكلفة التوليد من محطتي الديزل الموجودتين بالعاصمة، حيث يبلغ متوسط تكلفة التوليد من محطة توليد بولاوس حوالي 15 سنت/ ك.و.س. بينما يبلغ متوسط تكلفة التوليد من محطة توليد مارابو حوالي 25 سنت/ ك.و.س.، حيث تعمل الأولى على زيت الوقود الثقيل، بينما تعمل الثانية على زيت الغاز الخفيف.

**السعودية:** بلغ إجمالي استهلاك النفط والغاز لتوليد الكهرباء في السعودية، عام 2017، ما يعادل مليون برميل مكافئ نفط، منها حوالي 700 ألف برميل مكافئ نفط استهلاك وقود ثقيل وزيت غاز خفيف (ديزل)، وحوالي 300 ألف برميل مكافئ فقط استهلاك غاز طبيعي. يلاحظ أن كمية الغاز المنتجة في السعودية تكفي لتغطية حوالي 70% من احتياجات الوقود لوحدات التوليد أثناء أشهر الشتاء، إلا أن هذه النسبة تنخفض إلى حوالي 40% أثناء أشهر الصيف، كنتيجة لزيادة الحمل الأقصى أثناء الفترة (مايو – سبتمبر). وبالتالي تعتمد الشركة السعودية للكهرباء على زيت الوقود والديزل، بصورة كبيرة خلال تلك الأشهر.

يتوقع أن يتضاعف استهلاك الوقود في المملكة بحلول عام 2030 في حالة عدم تنفيذ أية مشاريع للتوليد باستخدام الطاقات المتجددة، بافتراض أن متوسط معدل الزيادة في استهلاك الوقود لأغراض التوليد سوف يكون بحدود 6% سنوياً، وذلك بالمقارنة مع معدل زيادة في استهلاك الوقود للتوليد يبلغ حوالي 2.5%

سنوياً للدول الآسيوية وحوالي 1.5% لدول أمريكا اللاتينية، وحوالي 1.5% انخفاضاً في الاستهلاك في الولايات المتحدة و1.0% انخفاضاً في الدول الأوروبية.

في محاولة منها لتخفيض استهلاك الوقود المستخدم للتوليد، قامت المملكة العربية السعودية، عام 2010، بإنشاء مدينة الملك عبد الله للطاقة الذرية والمتجددة ضمن جهودها لزيادة قدرة المملكة على توليد الطاقة باستخدام طاقة الرياح والطاقات الشمسية والحرارية والنووية، وذلك بهدف أن يتم بحلول عام 2040 إنتاج حوالي 34% من إجمالي الكهرباء في المملكة من غير مصادر الوقود الأحفوري. وفي سبيل ذلك، تضمن البرنامج الذي أعدته المدينة إضافة حوالي 17.6 ج.و. من الطاقة النووية، و41 ج.و. من الطاقة الشمسية، بواقع 16 ج.و. من الطاقة الشمسية الفوتوفولطية و25 ج.و. من الطاقة الشمسية المركزة، بتكلفة إجمالية تقدر بحوالي 360 مليار دولار أمريكي.

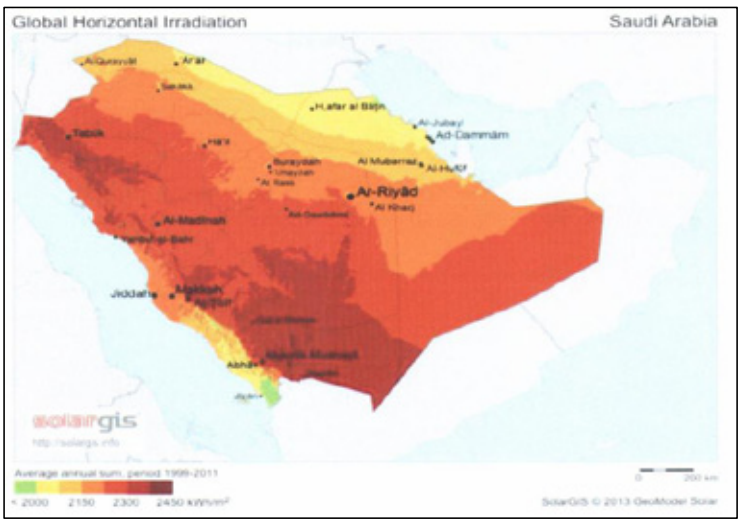
إلا أنه تم، في وقت لاحق، تخفيض تلك الأرقام بنسب كبيرة ضمن "رؤية السعودية 2030"، حيث من المتوقع، وفق تلك الرؤية، أن يتم الاكتفاء بإضافة حوالي 9.5 ج.و. من الطاقات الشمسية الفوتوفولطية، بتكلفة إجمالية 24 مليار دولار أمريكي، ومشاريع للتوليد الهوائي إجمالي قدراتها حوالي 700 م.و.، وعدم المضي قدماً في تنفيذ أية مشاريع للتوليد باستخدام الطاقة النووية أو باستخدام الطاقة الشمسية المركزة.

من المتوقع، بحلول عام 2030، أن تشكل القدرات المركبة من محطات التوليد الشمسية حوالي 7% من إجمالي قدرات التوليد في المملكة، ومحطات التوليد الهوائية حوالي 1% من إجمالي قدرات التوليد، بينما سوف تشكل قدرات محطات التوليد الحرارية نسبة الـ 92% المتبقية. ومن المتوقع كذلك أن لا تتجاوز كمية الطاقة المولدة من المحطات الشمسية حوالي 1.7% من الطاقة المولدة في المملكة، وبالتالي لن يكون لها تأثير كبير على تخفيض استهلاك المملكة من الوقود الأحفوري. إلا أنه بالنظر إلى أن الحمل الأقصى في المملكة يحدث خلال فترات الظهيرة، وهي الفترات التي يكون فيها إنتاج محطات التوليد الشمسية في أعلى مستوياته، فمن المتوقع أن يؤدي تركيب المحطات الشمسية إلى تخفيض كل من التكلفة التشغيلية والتكلفة الاستثمارية لمحطات التوليد الحراري في المملكة. وبالنظر إلى صغر قدرات التوليد الهوائي التي ستتم إضافتها للشبكة، فمن غير المتوقع أن تساهم، هي الأخرى، في تلبية جزء كبير من الطلب على الطاقة.

ويجدر بالذكر أنه، من أجل تحديد الحجم الأمثل للمحطات الشمسية المطلوب إضافتها على الشبكة، قامت الحكومة السعودية بإجراء دراسة تفصيلية تضمنت حساب التكلفة الكلية للنظام الكهربائي في السعودية (System Analysis). تضمنت الدراسة حساب تكلفة إضافة محطات توليد شمسية فوتوفولطية تراوحت سعاتها ما بين صفر و 20 ج.و.، موزعة على عدد من المناطق المختلفة في المملكة، وقامت بحساب تكلفة دمج تلك المحطات في الشبكة، والتي تتضمن تكلفة (Ramping Cost و Spinning Cost) لوحدات التوليد الحرارية الموجودة على الشبكة، بالإضافة إلى تكلفة تقوية شبكة النقل، اعتماداً على المواقع التي سيتم فيها تركيب المحطات الشمسية الفووفولطية.

تمت دراسة 15 بديلاً (A1, A2, ……., A15)[2] تشمل إضافة محطات توليد شمسية تتراوح إجمالي قدراتها من صفر حتى 20 ج.و.، تم توزيعها على عدم مناطق في المملكة، للأخذ في الاعتبار تكاليف الربط المختلفة بالشبكة نتيجة للحاجة لإنشاء خطوط نقل جديدة، واختلاف كثافة الإشعاع الشمسي من منطقة لأخرى، كما هو موضح في الشكل رقم (9).

**الشكل رقم (9): أطلس الطاقة الشمسية للمملكة العربية السعودية**



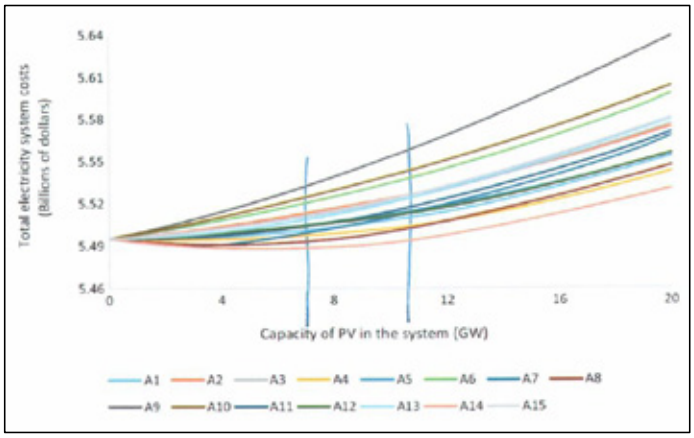

المصدر: المرجع رقم[3].

وقد أوضحت الدراسات أن التكلفة الإجمالية طوال فترة الدراسة (20 عاماً) تنخفض مبدئياً في حالة إضافة كمية صغيرة من محطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية، وتبلغ أدنى مستوى عند إضافة محطات شمسية قدراتها تتراوح ما بين 7 و 10 ج.و.، ثم تأخذ في الارتفاع بصورة مضطردة عند إضافة محطات توليد شمسية تتراوح قدراتها ما بين 10 و 20 ج.و. وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (10).

وعليه، اختارت الحكومة السعودية توريد وتركيب محطات توليد شمسية فوتوفولطية على الشبكة الكهربائية بقدرة 9.5 ج.و.

[2] يتمثل البديل (A1) في توزيع محطات التوليد الفوتوفولطية على المناطق الشرقية والوسطى والجنوبية من البلاد، بينما يتمثل البديل (A2) في توزيع تلك المحطات على المناطق الشرقية والوسطى والغربية، وهكذا.

**الشكل رقم (10): العلاقة بين التكلفة الإجمالية لدمج محطات الطاقة المتجددة بالشبكة والقدرة المضافة على الشبكة**




المصدر: المرجع رقم[4].

**السودان:** توجد في السودان حالياً ست محطات توليد كهرومائية، إجمالي قدراتها حوالي 1814 م.و.، ملحقة بسدود مروي والروصيص وسنار وخشم القربة المقامة على النيل الأزرق، وجبل الأولياء المقام على النيل الأبيض، وأعالي عطبة وستيت المقام على نهر عطبرة. شكلت قدرات التوليد من تلك المحطات حوالي نصف قدرات التوليد في البلاد. وبالنظر إلى الطبيعة الموسمية للتوليد من نهر النيل، فإن القدرة والطاقة الكهربائية المولدة من تلك السدود تكون عند أعلى مستوى خلال أشهر الشتاء وتنخفض إلى أدنى مستوى خلال أشهر الصيف، والأخيرة هي الفترة التي يقع فيها أقصى حمل كهربائي كنتيجة للحاجة لتشغيل أجهزة التكييف.

تتمثل خطط الحكومة السودانية المستقبلية في المدى القصير (الفترة 2018-2025) في إضافة حوالي 1000 م.و. قدرات توليد من محطات توليد شمسية ومزارع للرياح، بحيث يصبح إجمالي قدرات التوليد من مصادر الطاقات المتجددة، بحلول عام 2025، حوالي 2814 م.و.، سوف تشكل حوالي 51% من إجمالي قدرات التوليد في ذلك العام، منها 33% قدرات توليد كهرومائية. وتتمثل أهم المشاريع التي تعتزم الحكومة السودانية تنفيذها في المدى القصير في إنشاء محطة توليد هوائية بقدرة 80 م.و. في مدينة عطبرة. وفي انشاء محطات توليد شمسية اجمالي قدراتها حوالي 200 م.و. بالقرب من مدينة الخرطوم.

**سورية:** توجد في سورية عدة سدود لإنتاج الكهرباء إجمالي قدراتها حوالي 1494 م.و. شكّل اجمالي قدرات التوليد المركبة في محطات التوليد الملحقة بتلك السدود حوالي 15% من إجمالي قدرات التوليد المركبة على الشبكة السورية عام 2010، بينما شكلت الطاقة المولدة منها حوالي 9% من الطاقة المنتجة في ذلك العام. وقد شرعت الحكومة السورية، خلال الفترة 2005-2011، في البحث عن بدائل لتوليد الكهرباء باستخدام مصادر الطاقات المتجددة. وفي سبيل ذلك، قامت بإعداد أطلس للرياح وأطلس للطاقة

الشمسية بتمويل من الاتحاد الأوروبي تمهيداً للبدء في تنفيذ مشاريع للتوليد باستخدام الطاقات المتجددة. إلا أن الصراعات الداخلية في سورية، أدت إلى عدم تنفيذ أياً من تلك المشاريع.

**العراق:** شهد العراق، عام 2017، عجزاً كبيراً في قدرة وحدات التوليد الموجودة عليها الشبكة على تلبية الطلب على الطاقة الكهربائية بلغ حوالي 31.9 ت.و.س.، تم تغطية جزء منه من خلال استيراد حوالي 4.9 ت.و.س. من الشبكة التركية، وتمثل الباقي في وجود العديد من الانقطاعات على الشبكة لعدم القدرة على تلبية الطلب. ومن أجل تخفيف حدة تلك المشكلة، تعاقدت الحكومة العراقية مع مستثمرين خواص لتنفيذ تسعة مشاريع للتوليد الكتر ومائي باستخدام الطاقة الشمسية الفوتوفوليطة، إجمالي قدراتها حوالي 706 م.و. من المتوقع أن تدخل تلك المشاريع في الخدمة قبل نهاية عام 2018، وسوف تشكل إضافة مقدارها حوالي 2.7% لقدرات التوليد الموجودة على الشبكة، وحوالي 1% من إجمالي الطلب على الكهرباء في ذلك العام.

**عُمان:** تعتمد الشبكة العمانية، حالياً، بصفة شبكة كاملة على محطات التوليد الحرارية لتوليد الكهرباء. تعمل هذه المحطات على الغاز لأغراض التصدير تقوم الحكومة العمانية، من خلال شركة كهرباء المناطق الريفية بإنشاء محطة توليد هوائية بقدرة حوالي 50 م.و. في منطقة ظفار. كما تتضمن خطة الحكومة العمانية السماح للقطاع الخاص بإنشاء سبع محطات توليد جديدة بنظام البناء والتملك والتشغيل (Boo)، إجمالي قدراتها حوالي 2,550 م.و. تدخل في الخدمة تباعاً خلال الفترة 2018-2024، منها 4 محطات للتوليد الشمسي إجمالي قدراتها حوالي 2000 م.و. وثلاث محطات للتوليد الهوائي إجمالي قدراتها حوالي 550 م.و. وعليه، من المتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات التوليد لمحطات الطاقات المتحددة الموجودة على الشبكة العمانية، بحلول عام 2030، حوالي 2600 م.و.، سوف تشكل حوالي 18.9% في إجمالي قدرات التوليد في السلطنة.

**فلسطين:** تعتمد فلسطين حالياً، بصورة شبه كاملة، على شراء الكهرباء من الجانب الإسرائيلي، نظراً لعدم وجود أية وقود احفوري في البلاد، وحظر استيراده من جانب قوات الاحتلال. وعليه، يعتبر التوليد من مصادر الطاقات المتجددة الوسيلة المثلى لتخفيض فاتورة شراء الكهرباء، والتي بلغت حوالي 400 مليون دولار عام 2017. توجد في فلسطين إمكانيات جيدة للتوليد الشمسي وبعض الامكانيات للتوليد الهوائي، إلا أن عدد المشاريع التي تم تنفيذها قليل نظراً للظروف السياسية في البلاد. وعليه، اقتصرت مشاريع التوليد باستخدام الطاقات المتجددة في فلسطين على عدة مشاريع صغيرة، بقدرة إجمالية حوالي 12 م.و.، يتم فيها وضع خلايا ضوئية فوق أسطح المباني الحكومة الإدارية والمدارس والمستشفيات، وربطها بالشبكة الكهربائية على التوتر المنخفض أو المتوسط. تقوم مؤسسات التمويل العربية والإقليمية وحكومات الدول الأوروبية بتغطية تكاليف أغلب تلك المشاريع.

**قطر:** تعتبر منظومة التوليد في قطر من أكفأ منظومات التوليد في الدول العربية، حيث تشكل قدرات محطات التوليد، بنظام الدورة المركبة مرتفع الكفاءة، حوالي 80% من قدرات التوليد الموجودة على

الشبكة، كما يتم استخدام الغاز الطبيعي كوقود في كل محطات التوليد. وعليه، يقدر متوسط تكلفة التوليد على الشبكة القطرية بحوالي 6 سنت/ ك.و.س.، مقارنة بحوالي 8-10 سنت/ ك.و.س. في باقي دول الخليج. وبالرغم من الهدف المعلن من الحكومة القطرية هو الوصول إلى نسبة 20% من الطاقة المولدة عن طريق محطات التوليد الشمسية والهوائية عام 2030، إلا أن كل ما تم تنفيذه حتى الآن هو محطة شمسية بقدرة 15 م.و. في منطقة الدهيل.

**الكويت:** قامت الحكومة الكويتية، خلال الأعوام الخمسة الماضية، بإنشاء 26 مشروعاً صغيراً للتوليد الكهربائي بواسطة الطاقة الشمسية، بلغ إجمالي قدراتها حوالي 10 م.و.، وتمثل أغلبها في تغطية أسقف بعض المباني الحكومية ومواقف الانتظار بألواح شمسية. وتم مؤخراً تشغيل محطة توليد الشجايا الشمسية بقدرة حوالي 50 م.و. وقد تعاقدت الحكومة الكويتية مؤخراً على إنشاء محطة توليد الدبدبة بقدرة 1500 م.و. كجزء من خططها لأن يشكل إجمالي قدرات التوليد، من مصادر الطاقات المتجددة، حوالي 15% من قدرات التوليد في البلاد في عام 2030. سوف تشكل قدرة محطة توليد الدبدبة حوالي 6% من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة عام 2030، إلا أن الطاقة المولدة منها لن تغطي سوى حوالي 1% من إجمالي الطلب الطاقة، حيث أن معامل سعة توليدها سيكون بحدود 15%، مقارنة بحوالي 70% لمحطات التوليد الحرارية العاملة. وسوف تحتاج الكويت إلى إنشاء محطات توليد أخرى تعمل على الطاقات المتجددة إجمالي قدراتها حوالي 1 ج.و. لتصل إلى الهدف المنشود في الخطة.

**لبنان:** تعاني الشبكة اللبنانية من عجز كبير في التوليد يقدر بحوالي 454 م.و.، حيث بلغ الحمل الأقصى عام 2017 حوالي 3,500 م.و.، بينما لم تتعدى قدرة التوليد المركبة على الشبكة حوالي 3046 م.و.، أغلبها من وحدات توليد بخارية موجودة في محطات الذوق والجية، ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة في محطتي الزهراني والبداوي. وبالإضافة إلى المحطات الحرارية المذكورة أعلاه، توجد بعض محطات للتوليد الكهرومائي إجمالي قدراتها حوالي 280 م.و. ملحقة بسدود الليطاني والبارد والصفاة، شكّلت قدرات التوليد من تلك المحطات حوالي 9% من القدرة المركبة على الشبكة. وقد وافقت الحكومة اللبنانية مؤخراً على شراء 200 م.و. بموجب عقد شراء طاقة من مشروع تنفذه ثلاث شركات لبنانية لتوليد الطاقة في تربينات الرياح، ومن المخطط أن يدخل هذا المشروع في الخدمة عام 2020.

**ليبيا:** تتم تلبية الطلب على الحمل الأقصى والطاقة في ليبيا بواسطة محطات توليد بخارية وغازية ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة. كانت الحكومة الليبية تهدف إلى إنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة إجمالي قدراتها 1000 م.و. تعمل بالطاقة الشمسية الفوتوفولطية، ومحطات توليد إجمالي قدراتها 1200 م.و. تعمل بالطاقة الشمسية المركزة، إلا أن الأحداث السياسية في ليبيا، بدءاً من عام 2011، أدت إلى توقف أية جهود لإنشاء تلك المحطات.

**مصر:** بلغت القدرة الكهربائية المركبة على الشبكة المصرية، عام 2010، حوالي 24.7 ج.و.، موزعة على النحو التالي: وحدات توليد حرارية بقدرة 21.4 ج.و.، وحدات توليد كهرومائية بقدرة حوالي 2.8

ج.و.، ومحطات توليد تعمل بطاقة الرياح والطاقة الشمسية بقدرة حوالي 490 م.و. وشكلت الطاقة الكهربائية المولدة من المحطات الكهرومائية والهوائية والشمسية حوالي 7% من إجمالي الطاقة المولدة على الشبكة. شهدت الفترة (2011-2017) زيادة كبيرة في قدرات التوليد في مصر، تمثل أغلبها في إنشاء محطات توليد حرارية، حيث قامت الحكومة المصرية خلال تلك الفترة بإنشاء محطات توليد بخارية ومحطات توليد تعمل بنظام الدورة المركبة إجمالي قدراتها حوالي 20 ج.و.، بينما لم تقم بإضافة سوى 397 م.و. قدرات توليد هوائية وشمسية.

من المتوقع أن تشهد الفترة (2018-2022) طفرة كبيرة في قدرات التوليد من مصادر الطاقة المتجددة، حيث تقوم هيئة الطاقة المتجددة بالإشراف على تنفيذ مشاريع توليد بطاقة الرياح والطاقة الشمسية الفوتوفولطية في مناطق جبل الزيت وخليج السويس والغردقة وكوم أمبو عن طريق قروض ميسرة، بينما يقوم القطاع الخاص بتنفيذ محطات توليد بطاقة الرياح وبالطاقة الشمسية الفوتوفولطية ضمن مشروع تعرفة التغذية (Feed-in-Tariff)، أكبرها مجمع بنبان للطاقة الشمسية الفوتوفولطية، بقدرة 1450 م.و.، والذي سيكون عند اكتماله من أكبر المجمعات الشمسية في العالم. وكذلك يتم الإعداد لمشاريع بالطاقة الشمسية الفوتوفولطية وطاقة الرياح بقدرة إجمالية حوالي 2400 م.و.، تنفذ عن طريق نظام البناء والتملك والتشغيل (BOO).

وكنتيجة للإقبال المتزايد من جانب القطاع الخاص على تنفيذ مشاريع للتوليد في مصر، فقد قامت الحكومة المصرية، مؤخراً، بتعديل مخططها لإنشاء محطات توليد تعمل بنظام الطاقة المتجددة، لتشمل إضافة حوالي 20 ج.و. محطات توليد تعمل بالطاقة الشمسية، وحوالي 20 ج.و. أخرى لمحطات توليد تعمل بطاقة الرياح خلال الفترة (2018 – 2030)، إلا أن السيناريو الأكثر واقعية، نتيجة لطبيعة إجراءات التعاقد على المشاريع في مصر، هو إنشاء محطات توليد شمسية إجمالي قدراتها حوالي 7.9 ج.و.، ومحطات توليد، تعمل بطاقة الرياح، إجمالي قدراتها حوالي 13.6 ج.و.، خلال تلك الفترة، الجدول رقم (5).



**الجدول رقم (5): قدرات التوليد الحالية والمتوقع إضافتها على الشبكة المصرية**

| نوع التوليد | قدرة التوليد الحالية (م.و.) | قدرات التوليد (م.و.) متوقع إضافتها على الشبكة خلال الفترة | | | إجمالي القدرات المتوقع وجودها على الشبكة (2030) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (2020-2018) | (2023-2021) | (2030-2024) | |
| توليد حراري | 41582 | 13890 | - | - | 55472 |
| توليد كهرومائي | 2800 | 32 | - | - | 2832 |
| محطات توليد شمسية فوتوفولطية | 140 | 1740 | 1500 | 4620 | 8000 |
| مزارع للرياح | 747 | 1042 | 2970 | 9541 | 14300 |
| **المجمـوع** | **45269** | **16704** | **4470** | **14161** | **80604** |

المصدر: المنتدى العربي لمنظمي الكهرباء، تقرير حول التجربة المصرية لتنمية الطاقات المتجددة.

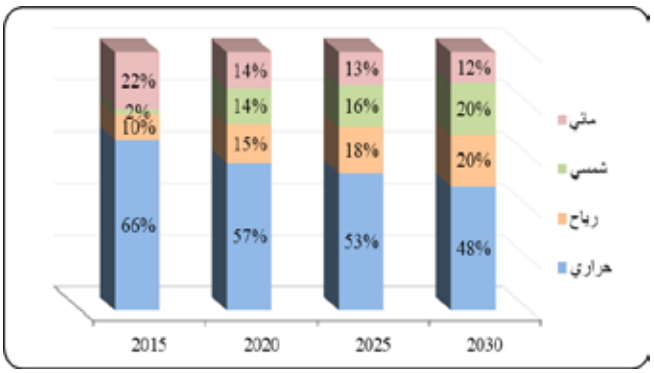
يتضح أنه، بحلول عام 2030، سوف تشكل قدرات التوليد من مصادر الطاقة المتجددة في مصر حوالي 31.2% من إجمالي قدرات التوليد على الشبكة، وسوف يمثل التوليد الكهرومائي حوالي 3.5% من تلك القدرات، بينما ستشكل القدرة المركبة لمحطات التوليد الشمسية والهوائية حوالي 10.0 و17.8%، على التوالي، من تلك القدرات.

**المغرب:** شهد المغرب خلال العقدين الماضيين نمواً كبيراً في مختلف المجالات الاقتصادية، حيث بلغ متوسط الارتفاع السنوي في الناتج المحلي الإجمالي حوالي 5.3%، وبلغ متوسط الارتفاع السنوي في استهلاك الكهرباء حوالي 6.5%. قامت الحكومة المغربية بتلبية الطلب على الكهرباء بواسطة محطات توليد حرارية تحرق الفحم وزيت الوقود الثقيل والغاز الطبيعي، ومحطات توليد كهرومائية وشمسية وهوائية، بالإضافة إلى استيراد حوالي 4.3 ت.و.س. من الشبكة الإسبانية، شكلت حوالي 14% من إجمالي الطلب على الطاقة في البلاد.

لطالما تمتع المغرب بموارد كبيرة بالنسبة لمصادر الطاقة المتجددة، سواءً كانت الطاقات الشمسية أو طاقات الرياح. تقدر الدراسات إمكانية توليد حوالي 327 ج.و. من الطاقة الهوائية الموجودة في المناطق الساحلية، حيث تتراوح سرعة الرياح فيها ما بين 7.5 و11 متراً في الثانية، وإمكانية توليد حوالي 10.8 ألف ج.و. من محطات توليد فوتوفولطية، وحوالي 8.8 ألف ج.و. من محطات توليد تعمل بالطاقة الشمسية المركزة، وهي كميات هائلة.

شكل إجمالي قدرات التوليد المائية والشمسية والهوائية، حتى عام 2015، حوالي 22 و2 و10%، على التوالي، من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة. قامت تلك القدرات بتغطية حوالي 13.5% من إجمالي الطلب على الكهرباء في ذلك العام، وقامت محطات التوليد الحرارية بتغطية حوالي 71.7% من ذلك الطلب، بينما قامت المغرب باستيراد نسبة الـ 14.8% المتبقية من الشبكة الإسبانية. في سبيل تقليل الاعتماد على التوليد الحراري والطاقة المستوردة، تحركت الحكومة المغربية على ثلاثة محاور. يتمثل الأول في زيادة قدرة التوليد الكهرومائي من 1770 م.و. عام 2015 إلى حوالي 2900 م.و. بحلول عام 2030، والثاني في زيادة قدرة التوليد الشمسي سبعة أضعاف من 661 م.و. إلى 4800 م.و.، والثالث في زيادة قدرة التوليد الهوائي بنحو خمسة أضعاف من 1018 م.و. إلى حوالي 5000 م.و.، خلال الفترة ذاتها، بحيث تشكل قدرات التوليد من تلك المحطات حوالي 52% من إجمالي قدرات التوليد المركبة على الشبكة في ذلك العام، الشكل رقم (11).

**الشكل رقم (11): تطور التوزيع النسبي لقدرات التوليد المركبة على الشبكة المغربية (2015 – 2030)**




المصدر: وزارة الطاقة والمعادن والتنمية المستدامة – المملكة المغربية، تقرير
Renewable Energy in Morocco: Large Scale Deployment

بالنسبة للتوليد الكهرومائي، هناك مشروع لإنشاء محطة توليد "مديز المنزل" بقدرة توليد 130 م.و.، وآخر لمشروع إنشاء محطة "عبد المنعم" بقدرة توليد 350 م.و.، بتكلفة إجمالية حوالي 500 مليون دولار، على أن يدخلا في الخدمة بحلول عام 2020، مما سوف يرفع من قدرة التوليد الكهرومائي من 1770 م.و. إلى 2250 م.و. بحلول عام 2020، بالإضافة لمشاريع توليد كهرومائي أخرى مستقبلية إجمالي قدراتها حوالي 650 م.و.

بالنسبة للتوليد الهوائي، فبالإضافة إلى مزارع "رياح تطوان" و"أم جدول" و"طنجة" و"العيون" و"طرفيا"، التي قام المكتب الوطني للكهرباء بإنشائها خلال الفترة (2000 – 2014)، قام المطورون من القطاع الخاص بإنشاء مزارع "رياح أخضنير" و"فم الواد" و"الحاومه" و"جبل خلادي" بقدرات 420 م.و.، و 200 م.و.، و 50 م.و. و 120 م.و.، على التوالي. كما توجد لدى المكتب الوطني للكهرباء برامج لإنشاء مزارع رياح جديدة إجمالي قدراتها حوالي ألف م.و.، موزعة على ستة مواقع. من المتوقع أن تدخل تلك المزارع في الخدمة تباعاً خلال الفترة (2018 – 2020).

أما بالنسبة للتوليد الشمسي، فتمثلت جهود الحكومة المغربية في إنشاء محطات توليد شمسية فوتوفولطية ومحطات توليد تعمل بالطاقة الشمسية المركزة إجمالي قدراتها حوالي 2000 م.و. في خمس مناطق، لتغطي حوالي 10% من إجمالي الطلب على الكهرباء بحلول عام 2020. وقد تم تكليف الوكالة المغربية للطاقة الشمسية (MASEN) بتنفيذ جزء كبير من هذا البرنامج.

مثلت محطة توليد نور (1)، بقدرة 160 م.و. في منطقة ورزازات أول مشروع كبير للتوليد باستخدام الطاقة الشمسية المُركزة في المغرب، وقد دخلت المحطة في الخدمة عام 2015، وتقوم الوكالة المغربية حالياً بتنفيذ محطات نور (2)، ونور (3)، ونور (4) بقدرات 200 و150 و170 م.و.، على التوالي. وقد تم تصميم محطات نور (2) ونور (3) لتعملا بنظام الطاقة الشمسية المُركزة لتغطية جزء من حمل القاعدة،

بينما تم اختيار تصميم محطة نور (4) بحيث تعمل على الطاقة الشمسية الفوتوفولطية منخفضة تكلفة التوليد.

**موريتانيا:** تمثل التوليد الكهربائي في موريتانيا، حتى عام 2015، في وحدات ديزل صغيرة تعمل على زيت الغاز الخفيف، أو وحدات ديزل متوسطة الحجم تعمل على زيت الوقود الخفيف. تراوح متوسط تكلفة التوليد من الوحدات الصغيرة ما بين 25 و30 سنت/ ك.و.س.، بينما تراوح متوسط تكلفة التوليد من الوحدات متوسطة الحجم ما بين 12 و15 سنت / ك.و.س.، مما شكل عبئاً كبيراً على الحكومة الموريتانية، حيث اضطرت لاستيراد الوقود اللازم للتوليد لعدم توفره داخل البلاد.

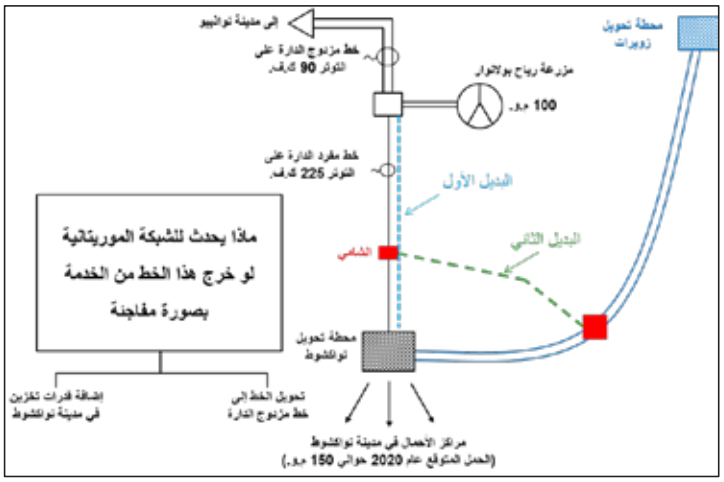
من أجل تقليل الاعتماد على الوقود المستورد، ستقوم الحكومة الموريتانية، خلال الفترة (2010–2020)، بتنفيذ برنامج طموح لإنشاء محطات توليد تعمل على الطاقات المتجددة. تمثل أول المشاريع المشمولة في البرنامج في إنشاء محطة توليد شمسية، بقدرة 15 م.و. شمال مدينة نواكشوط، دخلت الخدمة عام 2013. تبع ذلك إنشاء محطة توليد هوائية بقدرة 30 م.و. جنوب المدينة، دخلت الخدمة عام 2015. بلغ متوسط تكلفة التوليد من المحطة الشمسية عام 2015 حوالي 9 سنت/ ك.و.س. بينما بلغ متوسط تكلفة التوليد من المحطة الهوائية حوالي 6 سنت/ ك.و.س.، مما شجع الحكومة الموريتانية على التوسع في التوليد بواسطة مصادر الطاقة المتجددة. وعليه، قامت الحكومة بإنشاء محطة توليد شمسية فوتوفولطية ثانية بقدرة 50 م.و. شرق العاصمة، دخلت الخدمة نهاية عام 2017، وتقوم حالياً بإنشاء محطة توليد هوائية بقدرة 100 م.و. في مدينة بولانوار، على بعد حوالي 400 كم شمال العاصمة.

سيتم ربط محطة توليد بولانوار في موريتانيا بشبكة الكهرباء في نواكشوط بخط مفرد الدارة، في المرحلة الأولى للمشروع، على أن يتم تحويله في مرحلة لاحقة إلى خط مزدوج الدارة.

بالنظر إلى أن تلك المحطة يتوقع أن تقوم عند دخولها في الخدمة عام 2020 بتلبية حوالي نصف الطلب على القدرة في المدينة، فإن فقدان دارة على الخط (بولانوار – نواكشوط)، قبل تحويله إلى خط مزدوج الدارة في المستقبل، سوف يؤدي إلى فقدان حوالي نصف قدرة التوليد على الشبكة، مما سوف يؤدي إلى عدم استقرارها.

وعليه، تدرس الشركة الموريتانية للكهرباء عدداً من الحلول لتلافي تلك المشكلة، منها الإسراع في تحويل الخط (بولانوار – نواكشوط) إلى دارة مزدوجة، أو إنشاء الوصلة (الشامي – اكجوجت) لإعطاء الشبكة جزء من الاعتمادية عند فقدان جزر الخط (الشامي – نواكشوط). تقدر تكلفة البديل الاول بحوالي 60 مليون دولار أمريكي، وتكلفة البديل الثاني حوالي 40 مليون دولار أمريكي، إلا أن البديل الأول يوفر اعتمادية كاملة للخط بينما يوفر البديل الثاني اعتمادية كاملة في حالة وجود أعطال على النصف الجنوبي من الخط فقط، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (12).

**الشكل رقم (12): بعض الحلول المقترحة لزيادة اعتمادية مشروع محطة توليد بولانوار في موريتانيا**




من المتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات محطات التوليد التي تعمل بالطاقات المتجددة، في عام 2030، حوالي 195 م.و. سوف تمثل حوالي 45% من إجمالي قدرات التوليد الموجودة على الشبكة الموريتانية، حينئذٍ.

تقدر تكلفة التوليد من محطة التوليد الشمسية الثانية حوالي 5.5 سنت/ ك.و.س.، بينما من المقدر أن يبلغ متوسط تكلفة التوليد من محطة توليد "بولانوار" الهوائية، عند دخولها في الخدمة عام 2020، حوالي 3.5 سنت/ ك.و.س.، حيث أن معامل سعة التوليد المتوقع منها يقدر بحوالي 57%، مقارنة بمعامل سعة يتراوح ما بين 30 و35% لأغلب المحطات الهوائية. وعليه، فمن المتوقع أن ينخفض متوسط تكلفة التوليد على الشبكة الموريتانية من حوالي 13.5 سنت/ ك.و.س. عام 2013 إلى حوالي 6.5 سنت/ ك.و.س. بدءاً من عام 2020.

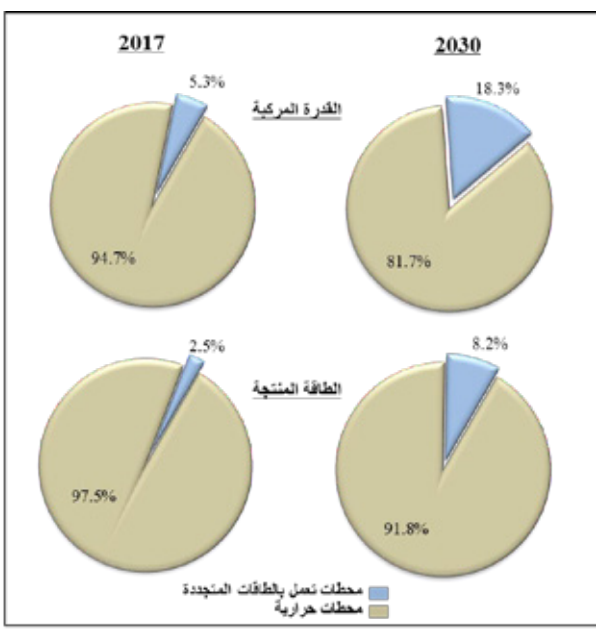
**اليمن:** لا توجد، حتى الآن، أية محطات توليد حكومية تعمل بالطاقات المتجددة في اليمن، إذ تعتمد الحكومة اليمنية على محطات توليد بخارية تعمل على زيت الوقود الثقيل ومحطة توليد مأرب الغازية التي تعمل على الغاز الطبيعي الموجود في منطقة صافر بالقرب من موقع محطة التوليد، بالإضافة إلى بعض محطات التوليد الديزل الصغيرة. وكنتيجة للانقطاعات المتكررة للكهرباء في اليمن نتيجة للظروف السياسية في البلاد، وتدمير أغلب خطوط النقل الهوائية، فقد لجأ السكان إلى تركيب خلايا شمسية فوق أسطح منازلهم. يقدر إجمالي قدرات التوليد المركبة باستخدام الخلايا الشمسية بحوالي 450 م.و.، إلا أن الشبكة الكهربائية لا تستفيد من تلك القدرات لعدم وجود تعرفة للتغذية في اليمن (Feed-in Tariff)، ولأن جزءاً كبيراً من شبكة التوزيع تم تدميره نتيجة للظروف السياسية في البلاد.

## 0-6 توقعات بخصوص منظومات التوليد في الدول العربية بحلول عام 2030

استناداً إلى البيانات المتوفرة حول برامج وخطط التوليد المستقبلية للدول العربية والمشاريع الجاري تنفيذها، وبافتراض أن أغلب الدول العربية سوف تقوم بسن التشريعات التي تساعد على زيادة مساهمة القطاع الخاص في هذا المجال، فمن المتوقع أن تقوم الدول العربية خلال الفترة (2018-2030) بإنشاء محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة إجمالي قدراتها حوالي 65.0 ج.و.، منها حوالي 41.6 ج.و. (64%) لمحطات توليد تعمل بالطاقة الشمسية، وحوالي 22.2 ج.و. (34%) لمحطات توليد تعمل بطاقة الرياح، وحوالي 1.6 ج.و. (2%) لمحطات كهرومائية ومحطات تعمل بالطاقة الحرارية الجوفية أو الكتلة الحيوية.

بالإضافة إلى محطات التوليد القائمة التي تعمل بالطاقات المتجددة، والتي بلغ إجمالي قدراتها حوالي 15 ج.و. في نهاية عام 2017، فمن المتوقع أن يبلغ إجمالي قدرات تلك المحطات عام 2030 حوالي 80.2 ج.و. سوف تشكل هذه القدرات حوالي 18.3% من إجمالي القدرات المركبة على الشبكات، مقارنة بحوالي 5.3% في عام 2017، الشكل رقم (13).

**الشكل رقم (13): تطور نسب القدرات المركبة والطاقات المنتجة لمحطات الطاقات المتجددة خلال الفترة 2017-2030**



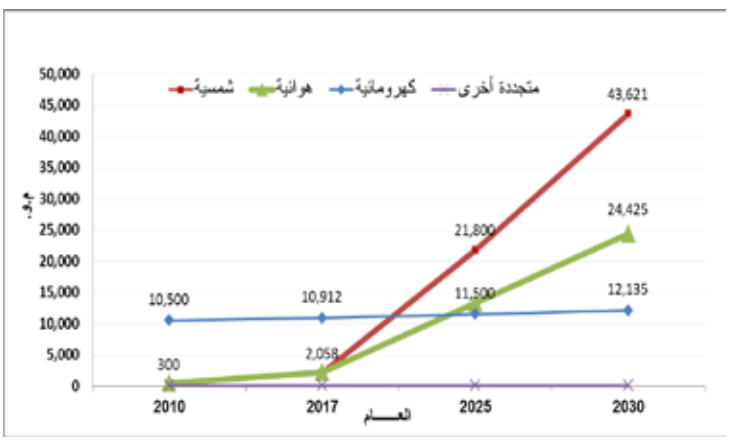

ومن المتوقع أن تقوم محطات التوليد التي تعمل بالطاقات المتجددة، الجديدة منها والقائمة، بتوليد حوالي 239 ت.و.س. عام 2030، سوف تغطي حوالي 8.2% من الطلب على الطاقة في ذلك العام، مقارنة

بحوالي 2.5% في عام 2017. ستكون هذه النسبة أقل بكثير من النسب المشابهة في الدول الأوروبية، حيث أصدرت الدانمارك تشريعات بأن لا تقل نسبة الطاقة المولدة من محطات التوليد التي تعمل على الطاقات المتجددة عن 50% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة على الشبكة بحلول عام 2030. كما أصدرت كل من ألمانيا وانجلترا تشريعات بأن لا تقل هذه النسبة عن 30% بحلول العام ذاته.

سوف يؤدي زيادة اعتماد الدول العربية على التوليد الكهربائي من مصادر الطاقات المتجددة إلى تخفيض استهلاك الدول العربية من النفط والغاز لتوليد الكهرباء بما يعادل حوالي 900 ألف برميل مكافئ نفط في اليوم في عام 2030، وهو ما يمكن أن يوجه إلى زيادة صادرات الدول العربية من النفط والغاز، مقارنة باستمرار الاعتماد على محطات التوليد الحرارية. ويتوقع كذلك أن يؤدي هذا التحول إلى توفير حوالي 200 ألف فرصة عمل في قطاع الكهرباء، تشمل مجالات تصنيع معدات التوليد وتركيبها وصيانتها، ناهيك عن تخفيض انبعاثات الغازات الضارة كنتيجة للاستغناء عن تشغيل عدد من محطات التوليد الحرارية الملوثة للبيئة.

يوضح الشكل رقم (14) أن إجمالي قدرات التوليد المركبة للمحطات الكهرومائية في الدول العربية سوف يرتفع من حوالي 10.5 ج.و. عام 2010 إلى حوالي 12.1 ج.و. عام 2030، وهي زيادة صغيرة، بينما من المتوقع أن يرتفع إجمالي قدرات توليد المحطات الشمسية، خلال الفترة ذاتها، من حوالي 300 م.و. إلى حوالي 43.6 ج.و.، وأن يرتفع إجمالي قدرات توليد المحطات الهوائية من حوالي 466 م.و. إلى حوالي24.4 ج.و.

**شكل رقم (14): تطور إجمالي قدرات التوليد المركبة**
**لمحطات الطاقات المتجددة في الدول العربية خلال الفترة (2010-2030)**




وعليه، يتوقع بحلول عام 2030 أن يمثل إجمالي قدرات التوليد من المحطات الشمسية حوالي 54.3% من إجمالي قدرات التوليد من مصادر الطاقات المتجددة، وأن يمثل إجمالي قدرات التوليد من المحطات

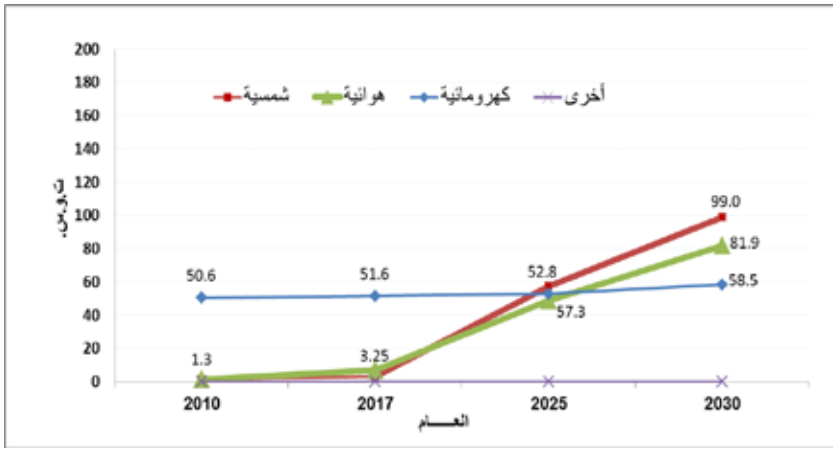
الهوائية حوالي 30.4%، وأن تنخفض نسبة قدرات التوليد من المحطات الكهرومائية من 92.4% من إجمالي قدرات التوليد من محطات الطاقة المتجددة عام 2010 إلى حوالي 15.1% في عام 2030، وذلك كما هو موضح في الجدول رقم (6).

**الجدول رقم (6): تطور التوزيع النسبي لقدرت التوليد المركبة للمحطات الكهرومائية والشمسية والهوائية في الدول العربية**

| نوع المحطة / العام | 2010 | 2017 | 2025 | 2030 |
|---|---|---|---|---|
| كهرومائية | %92.4 | %71.2 | %24.6 | %15.1 |
| شمسية | %2.6 | %13.4 | %46.6 | %54.3 |
| هوائية | %4.1 | %14.7 | %28.5 | %30.4 |
| متجددة أخرى | %0.9 | %0.7 | %0.3 | %0.2 |

إلا أن الوضع سيكون مختلفاً بعض الشيء بالنسبة لتوزيع الطاقات المنتجة، بالنظر إلى اختلاف معاملات سعات التوليد بين التوليد الكهرومائي والتوليد الشمسي والتوليد الهوائي، كما هو موضح في الشكل رقم (15) والجدول رقم (7).

**الشكل رقم (15): الطاقة المولدة من محطات الطاقات المتجددة في الدول العربية خلال الفترة (2010-2030)**



**الجدول رقم (7): تطور الطاقة المولدة من محطات الطاقات المتجددة في الدول العربية**

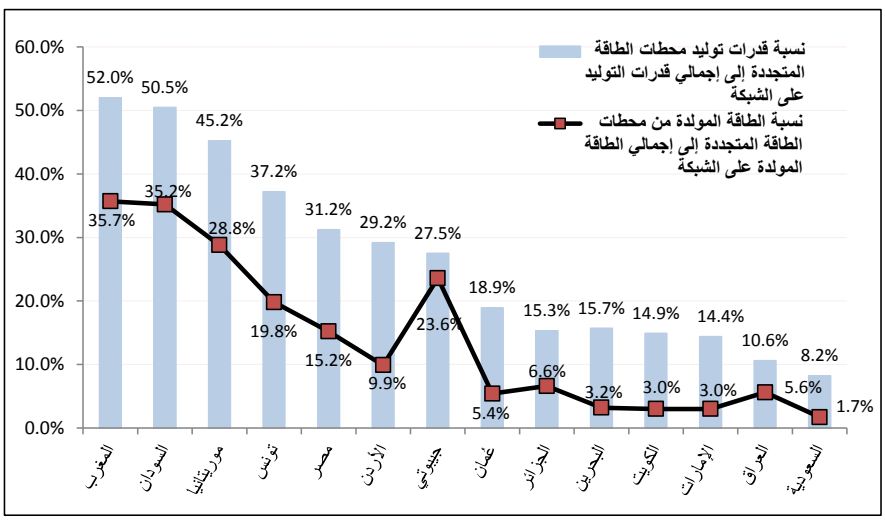
(ت.و.س.)

| نوع المحطة / العام | 2010 | 2017 | 2025 | 2030 |
|---|---|---|---|---|
| كهرومائية | 50.6 | 51.6 | 52.8 | 58.5 |
| شمسية | 1.3 | 3.25 | 57.3 | 99.0 |
| هوائية | 1.2 | 6.9 | 48.9 | 81.9 |
| أخرى | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| المجموع | 53.1 | 61.75 | 159.0 | 239.6 |

بحلول عام 2030، يتوقع أن تبلغ الطاقة المولدة من محطات التوليد الشمسية حوالي 99 ت.و.س.، سوف تمثل حوالي 41.3% من إجمالي الطاقة المنتجة من كافة محطات التوليد التي تعمل على الطاقات المتجددة، بينما ستمثل الطاقة المنتجة من محطات التوليد الكهرومائية والهوائية 24.4% و 34.2%، على التوالي، من تلك الطاقة.

وسوف تتفاوت نسب قدرات محطات الوليد باستخدام الطاقات المتجددة بدرجة كبيرة من دولة لأخرى، حيث يتوقع أن تتجاوز هذه النسبة 50% في كل من المغرب والسودان، وأن تبلغ حوالي 45% في موريتانيا، وحوالي 37% في تونس، وحوالي 30% في كل من مصر والأردن وجيبوتي، وأن تتراوح ما بين 10 و 20% في كل من عمان والإمارات والسعودية وعُمان والكويت والبحرين والعراق والجزائر، كما هو موضح في الشكل رقم (16).

**الشكل رقم (16): مدى مساهمة محطات الطاقات المتجددة في مزيج القدرة والطاقة في بعض الدول العربية**




البحث الثالث

يوضح الشكل (12) أيضاً نسبة الطاقة المولدة من المحطات التي تعمل على الطاقات المتجددة، مقارنةً بإجمالي الطاقة المولدة، لأغلب الدول العربية. ومنه يتضح أن حوالي 35% من الطاقة المولدة في المغرب وموريتانيا سوف تأتي من محطات تعمل على الطاقات المتجددة، وستكون هذه النسب حوالي 29% في موريتانيا و 19.8% في تونس و 15.2% في مصر وحوالي 10% في كل من الأردن.

يلاحظ من الشكل أيضاً أنه بالرغم من أن قدرات محطات التوليد من المحطات التي تعمل على الطاقات المتجددة في كل من السعودية والكويت والبحرين سوف تتراوح ما بين 8% و 16%، إلا أن نسب الطاقة المولدة من تلك المحطات، مقارنةً بإجمالي الطاقة المولدة في منظوماتها، ستتراوح ما بين 1.7% و 3.2%، وذلك لأن محطات التوليد من مصادر الطاقات المتجددة في تلك الدول ستكون بصفة أساسية محطات توليد شمسية فوتوفولطية. ومع الانخفاض المستمر في تكلفة محطات التوليد بالطاقة الشمسية المركزة، قد يكون من المناسب لتلك الدول إنشاء عدد من تلك المحطات وذلك لتخفيض التكلفة الاستثمارية والتشغيلية للتوليد.

وجدير بالذكر أن التوقعات المستقبلية، آنفة الذكر، عالمياً وعربياً، عرضة للتغيرات التقنية والتطورات التكنولوجية التي قد تؤثر في معطيات التوليد باستخدام الطاقات المتجددة وتكاليفها وجدواها وانتشارها وحصتها في كل سوق الطاقة، في مقابل التطورات في إنتاج وتسويق النفط وأسعاره.

من غير المتوقع أن تشكل نسب التوليد المستقبلية، باستخدام الطاقات المتجددة، مشاكل كهربائية تذكر لكل من المغرب ومصر وموريتانيا وجيبوتي، حيث يوجد توليد كهرومائي في مصر والمغرب يمكنه تقليل التذبذبات غير المتوقعة في القدرة المولدة من المحطات الهوائية والشمسية، بينما ترتبط موريتانيا كهربائياً بمالي التي يوجد بها سد "مانانتالي"، كما أن خطط تلك الدول تعتمد على المزج بين التوليد الهوائي والتوليد الشمسي، بحيث يتم الاعتماد بصورة كبيرة على التوليد الشمسي أثناء ساعات النهار والتوليد الهوائي أثناء فترات الليل. أما بالنسبة للشبكة الجيبوتية، فلا يتوقع أيضاً وجود مشاكل لديها، لأنها ستظل مربوطة بالشبكة الاثيوبية، التي يتم فيها أغلب التوليد بواسطة محطات كهرومائية. وبالمثل، لا يتوقع أن تشكل محطات التوليد الشمسية والهوائية الجديدة المزمع إنشاؤها في السودان أية مشاكل للشبكة السودانية، حيث ستظل قدرات التوليد المائي في السودان تشكل أكثر من ثلث قدرات التوليد على الشبكة.

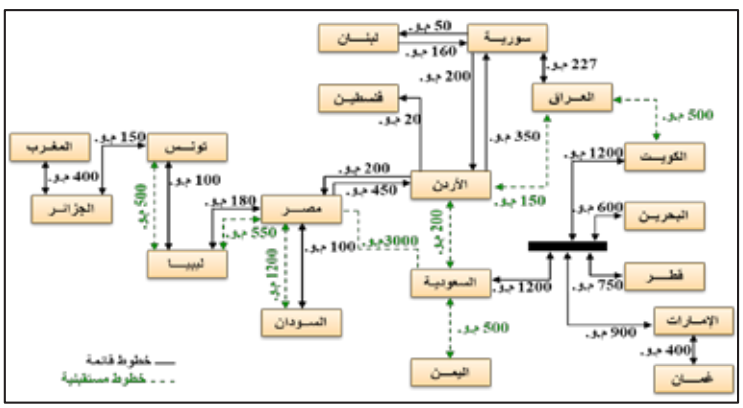
سيكون الوضع مختلفاً بعض الشيء بالنسبة للأردن وتونس والجزائر، نظراً لقلة أو عدم وجود توليد مائي لديها. عليه، من المتوقع أن تستفيد تلك الدول من مشاريع الربط الكهربائي القائمة وتلك المخطط تنفيذها لتخفيض مستوى التذبذبات المتوقعة، حيث سوف تستفيد شبكة الأردن من الربط الكهربائي القائم مع الشبكة المصرية والربط الكهربائي المخطط مع الشبكة السعودية، وهما شبكتان قادرتان على تحقيق اتزان للشبكة الأردنية. كما سوف تستفيد تونس والجزائر من الربط الكهربائي بينهما، ومن ارتباطهما بالشبكة المغربية المرتبطة بدورها بالشبكة الأوروبية من خلال خطين للربط البحري يبلغ إجمالي سعاتهما حوالي 1400 م.و.

بالنسبة لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، فمن غير المتوقع أن يكون لمشاريع إنشاء محطات التوليد الفوتوفولطية في السعودية تأثيراً كبيراً على شبكة الكهرباء فيها، نظراً لأن إجمالي قدرة التوليد لها لتلك المحطات لن يشكل سوى حوالي 10% من إجمالي قدرة التوليد على الشبكة، ولأن تلك المحطات ستقوم بتوليد أقصى قدرة خلال أوقات الظهيرة، وهي فترة الحمل الأقصى في السعودية. سيكون الوضع مختلفاً بعض الشيء في الإمارات، حيث أن دخول محطات الطاقة النووية الأربع، بإجمالي قدرة 5600 م.و.، سوف يؤدي إلى تقليل الاعتماد على محطات التوليد الغازية القائمة، وهي الوحدات التي يمكن من خلالها زيادة أو تخفيض قدرة التوليد بصورة سريعة لتعويض التفاوت في قدرات التوليد من المحطات الشمسية والهوائية. عليه، تبرز أهمية شبكة الربط الخليجي في تحقيق توازن لحظي بين كمية التوليد والاستهلاك على الشبكة الإماراتية.

## 7-0 دور شبكات الربط الكهربائي العربي في التغلب على بعض المشاكل الفنية التي قد تسببها مشاريع التوليد باستخدام الطاقات المتجددة

قامت الدول العربية، خلال العقدين الماضيين، بربط أغلب شبكات الكهرباء لديها على التوترات المختلفة. على سبيل المثال، فهناك ربط كهربائي على التوتر 400 ك.ف. بين شبكات الكهرباء في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، وربط كهربائي على التوتر 500/400 ك.ف. بين الأردن وسورية والعراق ومصر، وربط كهربائي على التوتر 200 ك.ف. بين مصر وليبيا وتونس، وربط كهربائي على التوتر 400 ك.ف. بين تونس والجزائر والمغرب. كما توجد هناك ثمانية مشاريع مستقبلية للربط، منها ثلاثة لدعم قدرات خطوط ربط قائمة، والخمسة الأخرى لتحقيق ربط بين دولتين غير مرتبطتين حالياً بصورة مباشرة، الشكل رقم (17).

**الشكل رقم (17): خطوط الربط الكهربائي القائمة والمستقبلية بين الدول العربية**




المصدر: الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي (2014). "تقرير دراسة الربط الكهربائي العربي الشامل واستغلال الغاز الطبيعي"، 2014.

يلاحظ أن نسب استغلال خطوط الربط الكهربائي المختلفة منخفضة بدرجة كبيرة، حيث لا تتجاوز 5% من سعات الخطوط، مقارنة بحوالي 50-60% في حالة خطوط الربط لشبكات الكهرباء في الدول الأوروبية. يعود أحد أسباب انخفاض حجم الطاقة المتبادلة إلى أن تكلفة التوليد في أغلب الدول العربية متقاربة، بالإضافة لعدم وجود سوق عربية مشتركة للكهرباء.

تمثل مشاريع التوليد باستخدام الطاقات المتجددة فرصة جيدة لزيادة نسب استغلال خطوط الربط القائمة، وذلك لعدد من الأسباب: يتمثل الأول في وجود اختلاف في التوقيت يقدر بخمس ساعات بين الدول العربية الواقعة في أقصى الشرق والدول العربية الواقعة في أقصى الغرب. بالتالي، فإن عدد ساعات اليوم التي توجد فيها إمكانية توليد كهربائي فوتوفولطي في الدول العربية مجتمعة هو حوالي 14 – 15 ساعة، مقارنة بحوالي 9 – 10 ساعات فقط في دول عربية بعينها. ويتمثل الثاني في أن الدول العربية تمتد على مسافة حوالي 5 آلاف كيلومتر، وبالتالي فإن احتمال توقف كافة التربينات الهوائية، في كل الدول العربية، عن العمل في وقت واحد هو احتمال ضئيل جداً.

سوف تبلغ سعة خط الربط المصري السعودي، المتوقع تشغيله عام 2020، حوالي 42% من إجمالي قدرات التوليد الهوائي في مصر. وعليه يمكن للشبكة السعودية تقديم دعم كامل للشبكة المصرية حتى في حالة انخفاض إجمالي مستوى التوليد الهوائي على الشبكة المصرية بنسبة 58%، بينما سيمكن للشبكة الأردنية تقديم دعم كامل للشبكة المصرية في الأوقات التي ينخفض فيها مستوى التوليد الهوائي على الشبكة المصرية بنسبة لا تتجاوز حوالي 6%. ويمكن كذلك للشبكة التونسية التعويض الجزئي للشبكة الجزائرية في حالة الانخفاض اللحظي للتوليد الهوائي فيها. وبالمثل، بالنسبة لباقي الشبكات، الجدول رقم (8).

**الجدول رقم (8): سعات التبادل المتاحة على خطوط الربط، مقارنة بقدرات التوليد الهوائية المتوقع تواجدها عام 2030**

| خط الربط | سعة التبادل المتاحة على الخط (م.و.) | قدرات التوليد الهوائية المتوقع تواجدها بحلول عام 2030 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | الدولة | القدرة (م.و.) | الدولة | القدرة (م.و.) |
| مصر – الأردن | 450 | مصر | 7200 | الأردن | 1100 |
| مصر – السعودية | 3000 | مصر | 7200 | السعودية | - |
| الأردن – سورية | 350 | الأردن | 1100 | سورية | - |
| الأردن – السعودية | 200 | الأردن | 1100 | السعودية | - |
| تونس – الجزائر | 150 | تونس | 1500 | الجزائر | 5000 |
| الجزائر – المغرب | 400 | الجزائر | 5000 | المغرب | 4200 |

المصدر: الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي، تقرير دراسة الربط الكهربائي العربي الشامل واستغلال الغاز الطبيعي، 2014.

وحتى يمكن، بصورة دقيقة، تقدير الفوائد التي يمكن أن تنتج كنتيجة لزيادة استخدام شبكات الربط، يقوم الصندوق العربي حالياً بتمويل دراسة لتحديد الانخفاض في كمية الطاقة غير الملباه في شبكات الدول

العربية، عند استخدام خطوط الربط، مقارنة بالطاقة غير الملباه في حالة عدم استخدام تلك الخطوط. تأخذ الدراسة في الحسبان التغيرات العشوائية في التوليد الهوائي.

## 0-8 بعض العقبات التي قد تعوق مساهمة القطاع الخاص في إنشاء محطات توليد باستخدام الطاقات المتجددة

يلاحظ أن اغلب الدول العربية سوف تعتمد على القطاع الخاص لإنشاء محطات توليد تعمل على مصادر الطاقة المتجددة، إلا أن هناك عدداً من التحديات قد تؤدي إلى عدم إقبال القطاع الخاص على المشاركة في ذلك، منها عدم وجود آليات تمويل مشجعة للاستثمار في ذلك المجال، مقارنة بالدول الأوروبية، ووجود قيود على تحويل العملة، حيث يقوم المستثمر بشراء المعدات بالعملات الأجنبية بينما يقوم باسترداد استثماراته بالعملة المحلية، وعدم وجود ضمانات للمستثمر في حالة حدوث تغيرات في سعر صرف العملة المحلية مقارنة بالعملات الأجنبية، وافتقار عدد من الدول العربية للتشريعات المناسبة لحماية المستثمرين.

وقد كان لقيام أغلب الدول العربية بدعم أسعار الوقود المقدم لشركات التوليد تأثير سلبي كبير على قدرة محطات التوليد المستخدمة لمصادر الطاقة المتجددة على المنافسة. ومع قيام العديد من الدول العربية بإلغاء أو تخفيض الدعم على الوقود، وانخفاض تكلفة التوليد من المحطات الشمسية والهوائية، فسوف يزداد حافز القطاع الخاص للدخول في تمويل مشاريع التوليد بواسطة مصادر الطاقة المتجددة.

كما يوجد هناك عاملان إضافيان يحدان من سرعة انتشار الطاقات المتجددة في الدول العربية. أولهما أن أنشطة الطاقة المتجددة في بعض الدول العربية تنحصر في إدارات فرعية ضمن هيئات ومؤسسات أكبر، أو نجد مزجاً بين إدارة شؤون الطاقة المتجددة وأنشطة أخرى مثل ترشيد الاستهلاك ورفع كفاءة استخدام الطاقة. وثانيهما أنه بالرغم من وجود عدد من مراكز البحث والتطوير في مجالات الطاقات المتجددة وكفاءة الطاقة، إلا أن نسبة مشاركة هذه المراكز في وضع الخطط والاستراتيجيات المستقبلية مازالت محدودة.

## 0-9 نظرة مستقبلية

شهدت الفترة 2009-2017 انخفاضاً كبيراً في تكلفة التوليد من المحطات الشمسية والهوائية، إذ بلغ متوسط هذا الانخفاض حوالي 80% للمحطات الشمسية الفوتوفولطية و 50% للمحطات الشمسية المركزة، و40% للمحطات التي تعمل بطاقة الرياح.

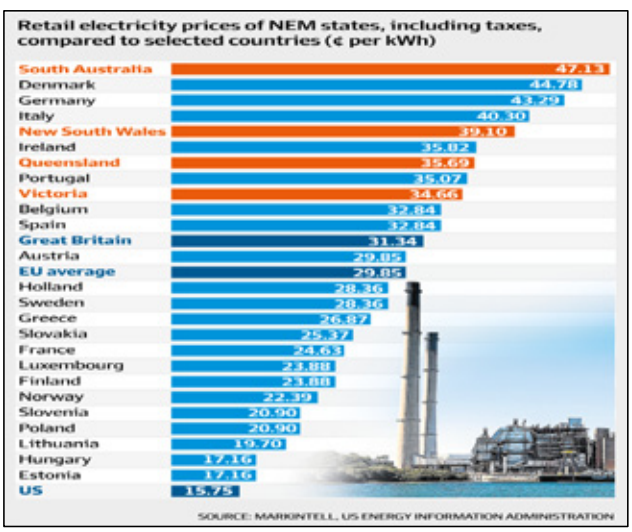
وكنتيجة لذلك، قام العديد من الدول الغربية بالتركيز على التوليد الهوائي والشمسي على حساب التوليد الحراري، مما أدى إلى انخفاض نسب استغلال وحدات التوليد الحراري في تلك الدول من حوالي 70% عام 2006 إلى حوالي 20% عام 2017، والنسبة الأخيرة متدنية للغاية حيث يفضل أن يتم تشغيل الوحدات الحرارية بنسب تتراوح ما بين 60% و 90% لأسباب فنية واقتصادية.

تتوقع أغلب الدراسات أن يستمر الانخفاض في تكلفة التوليد من المحطات الشمسية والهوائية، ولكن بمعدلات أقل، إذ يتوقع أن تبلغ تكلفة التوليد من المحطات الشمسية الفوتوفولطية، في عام 2040، ما بين 1.8 و 3.5 سنت/ ك.و.س.، وما بين 2 و 3 سنت/ ك.و.س. للمحطات الهوائية. ستكون تلك التكلفة حوالي نصف تكلفة التوليد من محطات التوليد التي تعمل بنظام الدورة المركبة، وحوالي ثلث تكلفة التوليد من المحطات البخارية والغازية.

إلا أنه لم يصاحب ذلك انخفاض مشابه في أسعار الكهرباء في الدول التي شهدت زيادة كبيرة في قدرات التوليد الهوائية والشمسية. على سبيل المثال، ارتفع متوسط تكلفة التوليد في ألمانيا، من جميع مصادر التوليد، بنسبة 51% خلال الفترة 2006-2016، وبنسبة 24% في ولاية كاليفورنيا خلال الفترة 2011-2017، وبنسبة مشابهة في الدانمارك.

يوضح الشكل رقم (18) تكلفة التوليد في عدد من الدول الأوروبية. يلاحظ من الشكل أن تكلفة التوليد في الدانمارك وألمانيا والبرتغال، وهي الدول التي تعتمد بصورة كبيرة على التوليد الكهربائي من مصادر الطاقة المتجددة، مرتفعة للغاية مقارنة بدول مثل فرنسا والنرويج وإستونيا والولايات المتحدة التي تعتمد على التوليد الحراري أو التوليد من المحطات النووية، بصفة أساسية لتلبية الطلب على الطاقة.

**الشكل رقم (18): سعر بيع الكهرباء في بعض الدول الغربية (يورو/ ك.و.س.)**




المصدر: المرجع رقم[6].

يعود السبب الرئيسي في ذلك إلى أن شركات الكهرباء، حتى الآن، لا تعتبر محطات التوليد الهوائية والشمسية الفوتوفولطية ضمن القدرات المؤكدة على شبكاتها، فتقوم بإنشاء (أو الإبقاء على) محطات توليد حرارية، أو نووية، لاستخدامها في حالة عدم توفر الرياح أو أثناء الليل. وبالتالي ارتفع مستوى احتياطي

التوليد لدى شركات الكهرباء التي توسعت في استخدام الطاقات المتجددة من حوالي 115% إلى حوالي 150%، وما يقابله ذلك من زيادة في التكاليف الاستثمارية التي تنعكس على تكلفة التوليد.

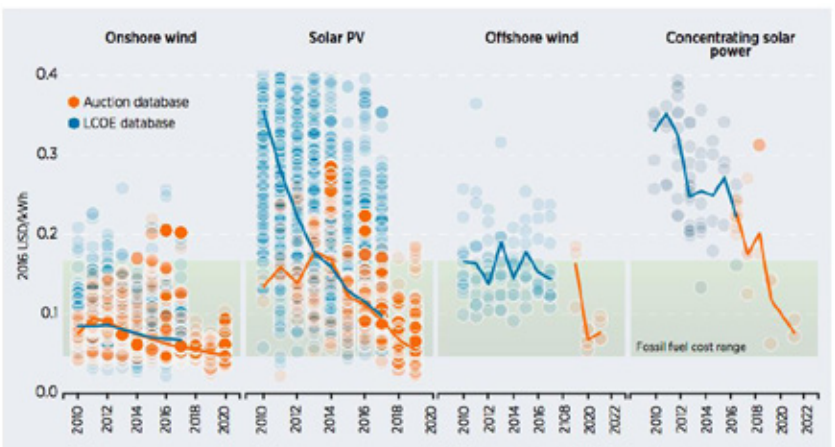
إلا أنه يتوقع أن يتغير الوضع بصورة كبيرة خلال الأعوام العشرة القادمة، وذلك نتيجة لعاملين، وهما الانخفاض في تكلفة البطاريات التي تستخدم لتخزين الطاقة المولدة من محطات التوليد الشمسية الفوتوفولطية والانخفاض في تكلفة إنشاء محطات التوليد الشمسية المركزة.

كما ذكر سابقاً، يمكن استخدام بطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية المولدة في الصباح لتغذية الأحمال في المساء، أو لتخفيض التذبذب في القدرة المولدة من مزارع الرياح نتيجة لتغير سرعة الرياح بشكل مفاجئ، مما يؤدي إلى تحسين معامل سعة التوليد عن محطات التوليد الشمسية، وزيادة اعتمادية المنظومة الكهربائية.

كما يتوقع أن ينخفض متوسط تكلفة التوليد من محطات التوليد الشمسي المركزة ( Concentrated Solar Power) من حوالي 15 سنت/ ك.و.س. عام2017 إلى حوالي 5 سنت/ ك.و.س. عام 2022، كما هو موضح في الشكل رقم (19)، مما سيكون له أكبر الأثر في تخفيض متوسط تكلفة التوليد على الشبكات، حيث سوف يمكن لشركات الكهرباء عندئذٍ إخراج وحدات توليد حرارية من الخدمة على أساس اعتبار القدرات المركبة في محطات التوليد الشمسية المركزة قدرات مؤكدة على الشبكة.



**الشكل رقم (19): الانخفاض المتوقع في تكلفة التوليد من المحطات الشمسية التي تعمل على الطاقة الشمسية المركزة**




المصدر:

*Source: IRENA Renewable Cost Database and Auctions Database.*

*Note: Each circle represents an individual project or an auction result where there was a single clearing price at auction. I the circle is the value for the cost of each project on the Y axis. The thick lines are the global weighted average LCOE, or auction values, by year. For the LCOE data, the real WACC is 7.5% for OECD countries and China, and 10% for the rest of the world. The band represents the fossil fuel-fired power generation cost range.*

## الخلاصـــة

استناداً على ما سبق، يمكن القول بأن العديد من الدول العربية قد قطعت خطوات ملموسة من أجل تذليل بعض العقبات التي قد تحول دون مساهمة القطاع الخاص في إنشاء مشاريع توليد باستخدام الطاقات المتجددة. على سبيل المثال، أنشأت مصر والأردن والمغرب وتونس والسعودية هيئات لتنظيم قطاع الكهرباء. تتضمن مهام تلك الهيئات تنظيم العلاقة بين الحكومة والمستثمرين، بما في ذلك تحديد سعر بيع الكهرباء وإعداد عقود نموذجية لشراء الطاقة.

عليه، سيتعين على الدول التي لم تقم بعد بفتح سوق الكهرباء سن التشريعات التي تساعد على مشاركة القطاع الخاص في إنشاء مشاريع التوليد، وتمكينه من بيع الطاقة المولدة منها للمستهلكين وشركات الكهرباء الحكومية، لكي تقوم بتهيئة المناخ التشريعي المناسب للمستثمرين، سواءً كان ذلك في ثبات سعر الصرف أو قابلية تحويل الأرباح خارج البلاد، بالإضافة لوجود منظم كهرباء مستقل.

أما من ناحية توفير التمويل بشروط ميسرة، فيمكن القول أن مؤسسات التمويل الدولية، مثل الإتحاد الأوروبي ووكالة إيرينا للطاقات المتجددة تقوم بتوفير قروض ميسرة للمستثمرين للدخول في هذا المجال، بينما يتم تطبيق نفس سعر الفائدة أو فترة السداد للقروض المقدمة من مؤسسات التمويل العربية سواءً كان ذلك لقروض لتمويل مشاريع للتوليد الحراري أو مشاريع للتوليد باستخدام الطاقات المتجددة. كما تقوم بعض مؤسسات التمويل الدولية، مثل البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتطوير، بتقديم ضمانات للمستثمرين لتعويضهم في حالة تعرضهم لخسائر نتيجة لتغير سعر الصرف. وعليه، فهناك حاجة لقيام مؤسسات التمويل العربية باستحداث آليات تمويل جديدة لمشاريع التوليد باستخدام الطاقات المتجددة لتقليل المخاطر على المستثمرين.

بالإضافة إلى ذلك، يتعين على الدول العربية الاستفادة من وجود المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة بالقاهرة، الذي تم إنشاؤه بغرض تفعيل التعاون العربي والإقليمي في مجال نشر السياسات الداعمة للطاقة المتجددة وتبادل الآراء على الصعيد الإقليمي حول القضايا ذات الصلة بالطاقة المتجددة، وكذلك الاستفادة من وجود الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA) في أبوظبي.

كما يوصى بإنشاء صندوق عربي لتمويل مشروعات الطاقة المتجددة، على أن تكون لديه القدرة والاستعداد لتمويل مشروعات الطاقة المتجددة في كافة الدول العربية، وليس الدول التي شاركت في إنشائه فقط، على أن يتم تحديد شروط الإقراض، للدول المختلفة، بناءً على الوضع الاقتصادي لتلك الدول.

وسوف يتعين على أغلب الدول العربية تقوية شبكات النقل الداخلية فيها حتى تتمكن من تصريف الطاقة التي سيتم توليدها من المحطات الجديدة. وستكون هناك أيضاً حاجة لتطوير أساليب إدارة الشبكات بحيث يتم استخدام العدادات الذكية والبرامج المتطورة لحسن إدارة الشبكة في ظل وجود التوليد غير المركزي (Distributed Generation).

كما يجب على الدول العربية كذلك العمل على توفير البيئة الداعمة لتعزيز مصادر الطاقة المتجددة من خلال توفير الإطار التشريعي والتنظيمي والمؤسسي الداعم لنمو مصادر الطاقة المتجددة من خلال سن التشريعات الكفيلة بتطوير مساهمة القطاع الخاص في إنتاج مصادر الطاقة المتجددة وتحسين فرص الاستثمار في هذا القطاع، إضافة إلى العمل على إيجاد إطار تنظيمي ومؤسسي كفيل بدعم نمو السوق وصياغة الاستراتيجيات الوطنية وآليات التنفيذ اللازمة لزيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة المستخدم على مستوى الدول العربية بما يضمن الاستغلال الأمثل للطاقات المتوافرة في البلدان العربية وتعزيز الكفاءة الاقتصادية.

# قائمة المراجع

[1] Ellaban O., Abu-Rub H., Blaabjerg F. Renewable Energy Sources: Current States, Future Prospects and their Enabling Technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 39 (2014) pages 748 – 764.

[2] Balancing Act, NERC's Integration of variable Generation Task Force Plans for a less Predictable Future IEFE power & Energy Magazine, November / December 2011, page 75-85.

[3] Al Maarik A.M., Investigations Solutions for Peak Electucal Demand in Central Region, Saudi Arabia, May 2017, University of Wisconsin, Milwauke, Theses and Dissertations.

[4] Saudi Arabia's Renewable Energy Strategy and Solar Energy Deployment Roadmap, King Abdul Aziz City for Atomic and Renewable Energy (KACARE).

[5] Renewables Fiasco the Astronomical Cost of Germany's Green Energy Failure, World Press, December 7, 2017.

[6] The Myth of Renewables Threatening Grid Stability, Bloomberg New Energy Finance, October 26, 2016.

[7] Laabi, T.D, Renewable Energy Policies Case Study for Morocco, the International Forum on Energy for Sustainable Development, Baku Azerbaijan, 18-21 October 2016.

# الملاحـــق

## الملحق رقم (1): تطور الطلب على الحمل الأقصى في الدول العربية(*)
## (2030 - 2005)

(م.و.)

| الدولـــة | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2020(**) | 2025(**) | 2030(**) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الأردن | 1,751 | 2,670 | 3,070 | 3,250 | 3,320 | 3,943 | 4,776 | 5,754 |
| الإمارات | 10,907 | 16,980 | 21,768 | 23,163 | 24,375 | 28,217 | 34,330 | 40,774 |
| البحرين | 1,725 | 2,708 | 3,041 | 3,418 | 3,572 | 4,018 | 4,772 | 5,532 |
| تونس | 2,172 | 3,010 | 3,299 | 3,500 | 4,025 | 4,398 | 5,076 | 6,230 |
| الجزائر | 5,921 | 7,718 | 11,877 | 12,839 | 14,182 | 16,417 | 20,459 | 24,892 |
| جزر القمر | 15 | 18 | 22 | 23 | 24 | 25 | 27 | 30 |
| جيبوتي | 54 | 63 | 99 | 106 | 113 | 135 | 172 | 209 |
| السعودية | 29,913 | 45,661 | 58,900 | 60,828 | 59,131 | 72,438 | 92,451 | 107,176 |
| السودان | 685 | 1,314 | 2,560 | 2,787 | 2,972 | 3,343 | 3,971 | 4,716 |
| سورية | 6,008 | 7,843 | 6,240 | 5,327 | 5,307 | 5,468 | 5,747 | 6,662 |
| العراق | 7,000 | 7,920 | 13,643 | 14,355 | 15,625 | 18,088 | 22,541 | 27,424 |
| عُمان | 2,813 | 4,020 | 5,310 | 5,920 | 6,304 | 7,508 | 9,813 | 12,524 |
| فلسطين | 630 | 820 | 1,315 | 1,340 | 1,380 | 1,508 | 1,748 | 1,930 |
| قطر | 2,735 | 5,090 | 6,480 | 7,435 | 7,855 | 9,355 | 12,227 | 14,605 |
| الكويت | 8,400 | 10,890 | 12,687 | 13,390 | 13,800 | 15,523 | 18,437 | 21,373 |
| لبنان | 2,022 | 2,510 | 2,797 | 3,400 | 3,500 | 3,825 | 4,327 | 4,896 |
| ليبيا | 3,857 | 4,759 | 6,835 | 7,017 | 7,383 | 7,607 | 7,995 | 9,268 |
| مصر | 15,678 | 22,750 | 28,060 | 29,200 | 29,400 | 34,523 | 44,061 | 56,234 |
| المغرب | 3,520 | 4,790 | 5,860 | 6,050 | 6,180 | 7,725 | 11,278 | 15,789 |
| موريتانيا | 85 | 106 | 143 | 152 | 161 | 210 | 268 | 330 |
| اليمن | 740 | 1,137 | 1,312 | 1,358 | 1,312 | 1,392 | 1,537 | 1,782 |
| **المجمـــوع** | **106,631** | **152,777** | **195,318** | **204,858** | **209,921** | **245,667** | **306,012** | **368,129** |

(*) لا توجد أية بيانات عن الشبكة الصومالية.
(**) متوقع.
المصدر: الاتحاد العربي للكهرباء، النشرات الإحصائية للأعوام 2005، 2010، 2015، 2016 و 2017.

## الملحق رقم (2): تطور الطاقة الكهربائية المنتجة
## (2005 - 2030)

(ج.و.س.)

| الدولـــة | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2020(*) | 2025(*) | 2030(*) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الأردن | 10,636 | 14,777 | 18,258 | 19,171 | 20,054 | 23,595 | 29,140 | 33,984 |
| الإمارات | 60,698 | 88,184 | 121,881 | 127,366 | 129,597 | 161,501 | 191,813 | 222,364 |
| البحرين | 8,867 | 13,230 | 16,428 | 17,085 | 17,979 | 21,874 | 25,980 | 30,118 |
| تونس | 11,700 | 14,821 | 17,509 | 18,209 | 19,083 | 23,217 | 27,933 | 34,105 |
| الجزائر | 33,528 | 45,173 | 63,382 | 66,234 | 70,898 | 88,352 | 110,102 | 130,767 |
| جزر القمر | 95 | 102 | 115 | 118 | 120 | 132 | 143 | 154 |
| جيبوتي | 298 | 349 | 478 | 501 | 524 | 701 | 895 | 1,089 |
| السعودية | 176,124 | 239,892 | 328,670 | 345,104 | 266,936 | 72,438 | 92,451 | 107,176 |
| السودان | 4,125 | 7,498 | 13,874 | 14,429 | 15,542 | 18,909 | 22,458 | 26,673 |
| سورية | 34,935 | 46,413 | 18,861 | 19,050 | 21,613 | 22,715 | 23,874 | 27,677 |
| العراق | 34,000 | 48,906 | 94,856 | 99,599 | 85,594 | 102,242 | 129,424 | 149,630 |
| عُمان | 13,230 | 18,535 | 26,758 | 28,096 | 30,567 | 39,012 | 48,616 | 57,741 |
| فلسطين | 0 | 0 | 151 | 156 | 156 | 200 | 250 | 300 |
| قطر | 16,114 | 26,362 | 40,680 | 42,307 | 45,555 | 55,425 | 65,827 | 76,312 |
| الكويت | 39,500 | 57,029 | 67,076 | 70,094 | 72,787 | 88,706 | 107,924 | 126,070 |
| لبنان | 10,125 | 11,211 | 11,598 | 11,975 | 14,263 | 106,358 | 125,070 | 141,505 |
| ليبيا | 19,000 | 32,559 | 36,069 | 36,430 | 36,797 | 38,674 | 40,647 | 47,121 |
| مصر | 101,299 | 138,782 | 176,567 | 186,278 | 189,550 | 247,734 | 316,179 | 403,533 |
| المغرب | 19,158 | 22,681 | 29,115 | 30,716 | 31,631 | 41,340 | 54,030 | 68,958 |
| موريتانيا | 470 | 626 | 803 | 840 | 889 | 1,156 | 1,540 | 1,895 |
| اليمن | 4,774 | 6,400 | 5,241 | 5,346 | 5,346 | 5,902 | 6,517 | 7,555 |
| **المجمـــوع** | **598,676** | **833,530** | **1,088,371** | **1,139,104** | **1,075,481** | **1,160,186** | **1,420,813** | **1,694,726** |

(*) متوقع.

المصدر: الاتحاد العربي للكهرباء، النشرات الإحصائية للأعوام 2005، 2010، 2015، 2016 و 2017.

## الملحق رقم (3): تطور القدرات المركبة في الدول العربية
## (2005 - 2017)

(م.و.)

| الدولـــة | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|
| الأردن | 1,931 | 3,243 | 4,275 | 4,415 | 4,415 |
| الإمارات | 15,710 | 23,238 | 28,761 | 28,761 | 28,761 |
| البحرين | 1,849 | 3,167 | 3,921 | 3,921 | 3,927 |
| تونس | 3,234 | 3,571 | 4,249 | 5,202 | 5,202 |
| الجزائر | 7,492 | 11,332 | 17,239 | 19,006 | 19,474 |
| جزر القمر | 8 | 10 | 14 | 15 | 18 |
| جيبوتي | 98 | 118 | 118 | 118 | 118 |
| السعودية | 32,301 | 49,138 | 69,156 | 74,709 | 80,702 |
| السودان | 1,213 | 2,509 | 3,152 | 3,302 | 3,567 |
| سورية | 7,059 | 8,200 | 10,050 | 10,050 | 10,050 |
| العراق | 12,015 | 15,006 | 21,111 | 25,177 | 26,096 |
| عُمان | 3,166 | 4,006 | 6,500 | 6,898 | 7,236 |
| فلسطين | 0 | 140 | 152 | 152 | 152 |
| قطر | 2,829 | 7,801 | 8,561 | 8,561 | 10,171 |
| الكويت | 10,229 | 13,383 | 17,819 | 18,870 | 18,870 |
| لبنان | 2,312 | 2,313 | 3,046 | 3,046 | 3,046 |
| ليبيا | 5,125 | 8,349 | 10,224 | 10,224 | 10,224 |
| مصر | 18,827 | 24,726 | 35,220 | 39,103 | 45,269 |
| المغرب | 5,237 | 6,320 | 8,159 | 8,262 | 8,820 |
| موريتانيا | 99 | 99 | 257 | 347 | 331 |
| اليمن | 641 | 1,232 | 1,519 | 1,519 | 1,519 |
| **المجمـــوع** | **131,375** | **187,901** | **253,503** | **271,658** | **287,968** |

المصدر: الاتحاد العربي للكهرباء، النشرات الإحصائية للأعوام 2005، 2010، 2015، 2016 و 2017.

## الملحق رقم (4): توزيع القدرات المركبة عام 2017 حسب نوع التوليد

(م.و.)

| الدولـــة | محطات توليد حرارية | محطات توليد تعمل بالطاقات المتجددة | | | | إجمالي القدرات المركبة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | كهرومائية | شمسي | ريـــاح | المجمـوع | |
| الأردن | 3,809 | 12 | 396 | 198 | 606 | 4,415 |
| الإمارات | 28,448 | 0 | 313 | 0 | 313 | 28,761 |
| البحرين | 3,921 | 0 | 5 | 1 | 6 | 3,927 |
| تونس | 4,854 | 62 | 46 | 240 | 348 | 5,202 |
| الجزائر | 18,892 | 228 | 344 | 10 | 582 | 19,474 |
| جزر القمر | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| جيبوتي | 118 | 0 | 0 | 0 | 0 | 118 |
| السعودية | 80,701 | 0 | 1 | 0 | 1 | 80,702 |
| السودان | 1,814 | 1,753 | 0 | 0 | 1,753 | 3,567 |
| سورية | 8,556 | 1,494 | 0 | 0 | 1,494 | 10,050 |
| العراق | 23,583 | 2,513 | 0 | 0 | 2,513 | 26,096 |
| عُمان | 7,236 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,236 |
| فلسطين | 140 | 0 | 12 | 0 | 12 | 152 |
| قطر | 10,156 | 0 | 15 | 0 | 15 | 10,171 |
| الكويت | 18,800 | 0 | 60 | 10 | 70 | 18,870 |
| لبنان | 2,766 | 280 | 0 | 0 | 280 | 3,046 |
| ليبيا | 10,224 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,224 |
| مصر | 41,582 | 2,800 | 140 | 747 | 3,687 | 45,269 |
| المغرب | 5,371 | 1,770 | 661 | 1,018 | 3,449 | 8,820 |
| موريتانيا | 236 | 0 | 65 | 30 | 95 | 331 |
| اليمن | 1,519 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,519 |
| **المجمـــوع** | **272,744** | **10,912** | **2,058** | **2,254** | **15,224** | **287,968** |
| **النسبة المئوية (%)** | **%94.7** | **%3.8** | **%0.7** | **%0.8** | **%5.3** | **%100.0** |

المصدر: الاتحاد العربي للكهرباء، النشرات الإحصائية للأعوام 2005، 2010، 2015، 2016 و 2017.

## الملحق رقم (5): قدرات التوليد باستخدام الطاقات المتجددة المتوقع تواجدها على الشبكات الكهربائية للدول العربية ونسبها من إجمالي قدرات التوليد (2030)

(م.و.)

| الدولـــة | محطات توليد بالطاقات المتجددة | | | | | محطات توليد حرارية | المجموع | نسبة قدرات التوليد من محطات الطاقة المتجددة إلى إجمالي القدرة المركبة (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | كهرومائي | شمسي | رياح | أخرى | المجموع | | | |
| الأردن | 12 | 1,203 | 715 | 0 | 1,930 | 4,680 | 6,610 | 29.2 |
| الإمارات | 0 | 6,500 | 0 | 0 | 6,500 | 38,759 | 45,259 | 14.4 |
| البحرين | 0 | 1,000 | 0 | 0 | 1,000 | 5,362 | 6,362 | 15.7 |
| تونس | 62 | 986 | 1,550 | 0 | 2,598 | 4,380 | 6,978 | 37.2 |
| الجزائر | 228 | 4,394 | 10 | 0 | 4,632 | 23,994 | 28,626 | 16.2 |
| جزر القمر | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 33 | 35 | 5.7 |
| جيبوتي | 0 | 20 | 20 | 15 | 55 | 145 | 200 | 27.5 |
| السعودية | 0 | 9,501 | 700 | 0 | 10,201 | 113,519 | 123,720 | 8.2 |
| السودان | 1,814 | 500 | 500 | 0 | 2,814 | 2,753 | 5,567 | 50.5 |
| سورية | 1,494 | 0 | 0 | 0 | 1,494 | 6,034 | 7,528 | 19.8 |
| العراق | 2,513 | 0 | 700 | 0 | 2,213 | 27,227 | 30,440 | 10.6 |
| عُمان | 0 | 2,000 | 600 | 0 | 2,600 | 11,176 | 13,776 | 18.9 |
| فلسطين | 0 | 50 | 0 | 0 | 50 | 450 | 500 | 10.0 |
| قطر | 0 | 1,000 | 0 | 0 | 1,000 | 15,796 | 16,796 | 6.0 |
| الكويت | 0 | 3,600 | 0 | 0 | 3,600 | 20,551 | 24,151 | 14.9 |
| لبنان | 280 | 0 | 200 | 0 | 480 | 4,906 | 5,386 | 8.9 |
| ليبيا | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,000 | 10,000 | 0 |
| مصر | 2,832 | 8,000 | 14,300 | 0 | 25,132 | 55,472 | 80,604 | 31.2 |
| المغرب | 2,900 | 4,800 | 5,000 | 0 | 12,700 | 11,700 | 24,400 | 52.0 |
| موريتانيا | 0 | 65 | 130 | 0 | 195 | 236 | 431 | 45.2 |
| اليمن | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,960 | 1,960 | 0 |
| **المجمـــوع** | **12,135** | **43,621** | **24,425** | **15** | **80,196** | **359,133** | **439,329** | **18.3** |

المصدر: بيانات الدول وتقديرات الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي.

# Contents

## Articles

**Agreements on Electrical Energy Trade among Arab Countries** 7
Eng. Jamila Mattar

**The Role of Arab Electric Interconnections in Maximizing the Exploition of Generated Energy in Non-Dispatchable Renewable Energy Units** 35
Dr. Samir AlKotob

**Renewable Energy Resources in the Arab World and its Uses in Electric Power Generation** 89
Dr. Mohamed Farahat

**Oil and Arab Cooperation is an Arab journal aiming at spreading petroleum and energy knowledge while following up the latest scientific developments in the petroleum industry**

**Articles published in this journal reflect the opinions of their authors and not necessarily those of OAPEC.**

- Information sources and references should be referred to/enlisted in a clear academic method.
- When citing information from any source (digital, specific vision, or analysis), plagiarism should be avoided. Such information should be rephrased by the researcher's own words while referring to the original source. For quotations, quotation marks ("…") should be used.
- It is preferred to write the foreign names of cities, research centres, companies, and universities in English not Arabic.
- The researcher's CV should be attached to the article if it was the first time he/she cooperates with the journal.
- Views published in the journal reflect those of the authors and do not necessarily represent the views of OAPEC. The arrangement of the published articles is conditioned by technical aspects.
- Authors of rejected articles will be informed of the decision without giving reasons.
- The author of any published article will be provided with 5 complementary copies of the issue containing his/her article.

**Articles and reviews should be sent to:**
**The Editor-in-Chiref, Oil and Arab Cooperation Journal, OAPEC**

**P.O.Box 20501 Safat -13066 Kuwait**
**Tel.: (+965) 24959000 - (+965) 24959779**
**Fax : (+965) 24959755**
**E-mail : oapec@oapecorg.org - www.oapecorg.org**

# PUBLICATION RULES

## DEFINITION AND PURPOSE

**OIL AND ARAB COOPERATION is a refereed quarterly journal specialized in oil, gas, and energy. It attracts a group of elite Arab and non- Arab experts to publish their research articles and enhance scientific cooperation in the fields relevant to the issues covered by the journal. The journal promotes creativity, transfers petroleum and energy knowledge, and follows up on petroleum industry developments.**

### RESEARCH ARTICLES

The journal welcomes all research articles on oil, gas, and energy aiming at enriching the Arab economic literature with new additions.

### BOOK AND RESEARCH REVIEWS

The journal publishes articles presenting analytical reviews on books or studies published on oil, gas, and energy in general. These reviews work as references for researchers on the latest and most important petroleum-industry-related publications.

### REPORTS

They tackle a conference or seminar attended by the author on the condition that they are relevant to oil, gas, and energy. Also, the author should obtain the permission of the institution that delegated or sponsored him/her to attend that event allowing him/her to publish their article in our journal. The report should not exceed 10 pages including figures, charts, maps, and tables if available.

## RESEARCH CONDITIONS

- Publication of authentic research articles in Arabic which observe internationally recognized scientific research methodology.
- Articles should not exceed 40 pages (including text, tables, and figures) excluding the list of references. The full text of the article should be sent electronically as a Word document.
- Figures, maps, and pictures should be sent in a separate additional file in JPEG format.
- “Times New Roman” should be used with font size 12. Line spacing should be 1.5. Text alignment should be “justified”.

Volume 45 - 2019 - Issue 169 3



# OIL AND ARAB COOPERATION

*Editor - in - Chief* **Abbas Ali Al-Naqi**

*Deputy Editor - in - Chief* **Abdul Kareem Kh. Ayed**

*Editorial Board*

**D. Samir El Kareish** **Ahmed Al-Kawaz**

**Abdul Fattah Dandi** **Ahmed Al-Kawaz**

**Saad Akashah** **Emad Makki**

**Prices**

*Annual Subscription ( 4 issues including postage)*

**Arab Countries:**
*Individuals: KD 8 or US $25*
*Institutions: KD 12 or US$45*

**Other Countries:**
*Individuals: US$ 30*
*Institutions: US$ 50*

*All Correspondences should be directed to:*
**Editor-in-Chief of Oil and Arab Cooperation Journal**



# OIL AND ARAB COOPERATION

Refereed Journal Published Quarterly by the Organization of Arab Petroleum Exporting Countries (OAPEC)