كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان(*)
«دراسة في الجغرافيا الاقتصادية»

Electric power efficiency in Sudan: Geographical economic study

د. ماهر حامد سعداوي(**)

تعتبر صناعة الكهرباء إحدى المعايير التي يقاس عليها تقدم الدول، وهي المقوم الأول والجاذب للاستثمار العالمي والمحلي في كل القطاعات الخدمية والسلعية، والصناعية والتجارية، لكونها من عناصر البنية التحتية المهمة التي تمتلك دوراً متعاظماً في التنمية والازدهار الاقتصادي، كما أن للطاقة الكهربائية دوراً بارزاً في استخدامات الحياة اليومية.

تركز تلك الدراسة على موضوع كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان من خلال التعرف على الحالة التشغيلية والإنتاجية لمحطات التوليد (سواء الحرارية أو المائية)، وكذلك التعرف على كفاءة شبكات نقل الكهرباء، ويسبق ذلك دراسة تطور إنتاج الدولة من الكهرباء، ثم يتم رصد النتائج المترتبة على ضعف كفاءة الكهرباء ثم وضع التصور حول الإمكانات المستقبلية لرفع كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان.

وتختتم الدراسة بالوصول إلى عدة نتائج كان أهمها ضعف الإنتاج بمحطات الكهرباء وزيادة فواقد نقلها بالشبكة القائمة وقله الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، كما توصلت الدراسة لمجموعة من التوصيات تساعد على رفع كفاءة الطاقة الكهربائية بالسودان وكان منها: ضرورة إحلال وتجديد شبكات الربط الكهربائي القائمة، والقيام بالصيانة الدورية للمحطات وتوفير الوقود بصورة دائمة لها.

(*) يقصد بالسودان هنا جمهورية السودان (الشمالي).

(**) مدرس الجغرافيا الاقتصادية، قسم الجغرافيا، معهد البحوث والدراسات الأفريقية، جامعة القاهرة

ص ص ٢٢٩ - ٢٩٦.

- **Abstract**

Electric industry is one of the criteria for state development and the cornerstone for international and local investments in all sectors, i.e. services, merchandise, industry and trade. This is attributed to its being a major element of infra-structure which plays an essential role in development and prosperity, in addition to the crucial role of electric energy in our daily life.

This study focuses on the efficiency of electric energy in Sudan. It sheds light on how far the power stations (thermal or hydraulic) are operational and productive. It also highlights the efficiency of power transfer networks. This is preceded by tracing the development of power production in Sudan and showing the consequences of power inefficiency , then making predictions about the potentialities to increase power efficiency in Sudan in the future.

The study reveals the low production rates in power stations and the increased rate of power loss during the transfer process. The paper also shows the low rate of using renewable power resources. Finally, the paper presents some recommendations for increasing power efficiency in Sudan, e.g. renewing power networks, constant maintenance of power stations and providing them with fuel.

- المقدمة

أصبح السودان بلداً مؤهلاً لتوليد الطاقة الكهربائية، حيث يذخر بالكثير من مصادر الطاقة الأولية المختلفة التي تنتج الكهرباء، والتي تشمل الطاقة المائية، ومشتقات البترول، والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والكتلة الحية (الحطب، والفحم، والمخلفات الزراعة)، إلا أن السودان مازال يعاني من مشكلة الطاقة والقوة المحركة، المتمثلة في هدر الطاقة وضعف كفاءة آلات التشغيل وشبكات الربط.

وتتعدد مُعاملات قياس كفاءة الطاقة الكهربائية، ومنها: مُعامل الكفاءة الإنتاجية ومُعامل الكفاءة التشغيلية ومُعامل الجودة ومُعامل الكثافة ولهذه المُعاملات بالغ الأثر، سواء بصورة مباشرة أم غير مباشرة في كفاءة المصدر، ومن ثَمَّ استهلاك المُنتج، لأن دراسة كفاءة الطاقة(*) تلبي شقين، أولهما: الحفاظ على رضا المستهلك في قطاعات الاستهلاك المنزلي والخدمي على وجه التحديد، وثانيهما: في اختيار أي المصادر أقل تكلفة، في استهلاك الطاقة (Adeola, 2008, 28).

- **أهمية البحث:** تعود أهمية البحث إلى النقاط الآتية:

١- قلة البحوث العربية التي تناولت فكرة كفاءة الطاقة الكهربائية، مع أن تلك البحوث تفتح المجال لمزيد من القياس الإحصائي والكمي، في مجال الطاقة عموماً والكهرباء خصوصاً.

٢- موضوع البحث من الدراسات التطبيقية التي تساير الاتجاهات الحديثة في الجغرافيا الاقتصادية.

٣- محاولة وضع حلول لرفع كفاءة الطاقة الكهربائية بالسودان.

٤- يعد توفر الطاقة سواء في صورتها الأولية أو الثانوية أحد المتطلبات الأساسية للتنمية، ومن ثم فإن رفع كفاءة الطاقة الكهربائية هو التحدي الرئيس الذي يواجه الكثير من دول العالم اليوم.

- **أهداف البحث:** تهدف هذه الدراسة إلى:

١- التعرف على مصادر إنتاج الطاقة الكهربائية بالسودان.

---

*) من معايير قياس كفاءة الطاقة أيضاً، تحديد مساهمة الطاقة داخل الدولة في الناتج الإجمالي من خلال قياس عدد الوحدات المنتجة والمستهلكة ومردودها بالوحدة الدولاريه، فغرب أوروبا وUSA أكثر الدول في مؤشر كفاءة الطاقة، ويليهما البرازيل والصين وجنوب أفريقيا ومصر، ثم ليبيا والسودان والجزائر(Adeola, 2008, 28).

٢- التحقق من كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان على مستوى المحطات المنتجة وكذلك على مستوى شبكات النقل والتوزيع.
٣- دراسة كفاءة الطاقة على مستوى المحطات وشبكات النقل والتوزيع بالسودان.
٤- الوقوف على الأسباب التي أدت إلى ضعف كفاءة قطاع الطاقة الكهربائية في السودان وتحليلها.
٥- وضع تصورات مستقبلية واقتراحات لتطوير، وتنمية إنتاج الطاقة الكهربائية بالسودان.

- **مشكلة البحث:**

تتمثل مشكلة البحث في عدة فرضيات وتساؤلات، ولذا طرح الباحث مجموعة من التساؤلات للإجابة عليها من خلال البحث، وكذلك مجموعة من الفرضيات للتأكد من مدى صحتها، وهي على النحو التالي:

❖ **تساؤلات البحث:**

١- ما هي مصادر الطاقة المتوفرة بالسودان؟، وهل هناك تبايناً إقليمياً في إنتاج الطاقة بالدولة؟.
٢- هل تعمل محطات الطاقة الكهربائية المائية والحرارية بكفاءة عالية؟.
٣- ما مدى تغطية شبكات توزيع الكهرباء على مستوى أقاليم السودان؟.
٤- هل لمصادر الطاقة المتجددة دور مستقبلي في رفع كفاءة الكهرباء واستدامتها بالسودان؟.

- **فرضيات البحث:**

١- يعود انخفاض كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان إلى انخفاض صيانة المحطات المُنتجة للكهرباء.
٢- يرجع انخفاض كفاءة شبكات الربط الكهربائي في السودان المتمثل في زيادة الفواقد إلى تهالك شبكات الربط الكهربائي وعدم تجديدها.
٣- تختلف الجودة والكفاءة الحرارية للمحطات الحرارية حسب نوع الوقود المستخدم للإنتاج.

٤- يأتي الكثير من الوقود المستهلك لإنتاج الكهرباء في المرتبة الأولى من مشتقات البترول يليه الغاز الطبيعي ثم الفحم.

- **أسباب اختيار الموضوع**

١- حيوية الموضوع وأهميته؛ لكون الطاقة الكهربائية أصبحت تمثل عنصراً جوهرياً في تلبية الاحتياجات اليومية، ومن ثم تحقيق الجوانب الاجتماعية والاقتصادية المتعلقة بالتنمية المستدامة.

٢- الوقوف على مدى كفاءة وملائمة محطات إنتاج الكهرباء وشبكة نقلها وتوزيعها على مستوى السودان؛ نظراً للأهمية الكبيرة المتوقفة عليها في مناحي الحياة المختلفة.

٣- تشخيص المشكلات التي تترتب على انخفاض كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان ومحاولة إيجاد حلول مستقبلية لها.

- **الدراسات السابقة:**

هناك ندرة في الموضوعات التي تناولت موضوع كفاءة الطاقة الكهربائية، حيث تم ذكرها في بعض الدراسات في تخصصات غير جغرافية، مع ذكرها في دراسات جغرافية في إطار تحليلات وتفسيرات أخرى، ومن تلك الدراسات ما يلي:

١. عبد الله حمادة الطرزي، ٢٠٠١م، الطاقة الكهربائية في سلطنه عمان – دراسة في الجغرافيا الكمية، تناولت محطات إنتاج الكهرباء وتطور القدرات المركبة لها، وتطور إنتاج الكهرباء.

٢. وفيق محمد جمال الدين، ٢٠٠١م، الطاقة الكهربائية في محافظة مسقط بسلطنة عمان – دراسة في الجغرافيا التطبيقية"، وتضمنت محطات توليد الكهرباء وهيراركية شبكة الكهرباء والعوامل المؤثرة في الشبكة.

٣. زكي أحمد مرشد، ٢٠٠٣م، منظومة الطاقة الكهربائية في اليمن – دراسة في جغرافية الطاقة، تناولت التطور التاريخي لشبكة الكهرباء الموحدة وتوطن محطات الكهرباء باليمن والعوامل المؤثرة في التوطن ثم إنتاج الكهرباء ونقلها وتوزيعها.

٤. ياسر إبراهيم محمد الجمال، ٢٠٠٦م، الطاقة الكهربائية في دمياط – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة المنوفية، تناولت تلك الدراسة بعض المعادلات حول كفاءة الطاقة الكهربائية وكفاءة تغطية الشبكة، والعوامل المؤثرة في توطن المحطات.

٥. مجتبى جعفر عباس، ٢٠١٢م، محددات طلب القطاع الصناعي على الكهرباء في السودان في الفترة من ١٩٩٠م إلى ٢٠١٠م، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الدراسات العليا، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، الخرطوم، السودان، وقد أشار إلى أن قطاع الصناعة هو الأكثر استهلاكاً للكهرباء وذلك يؤثر سلباً على قطاعات أخرى وكذلك انقطاع الكهرباء في أوقات الذروة لرفع الأحمال الناتجة عن طلب قطاع الصناعة.

٦. محمد ربيع فرج، ٢٠١٣م، الطاقة في محافظة السويس، دراسة في الجغرافيا الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة القاهرة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، وتناول فيها معادلات الجودة والكفاءة الحرارية والتشغيلية والإنتاجية لمحطات الكهرباء.

٧. أمل على مبارك، ٢٠١٤م، التحليل الإحصائي للعوامل المؤثرة على استهلاك الكهرباء في السودان والتنبؤ به للفترة ١٩٩٢-٢٠١٢م، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة أم درمان الإسلامية، أم درمان، السودان، تناولت تلك الدراسة مفهوم كفاءة الطاقة من مردودها الاقتصادي على الدولة من خلال استهلاك الطاقة على القطاعات الاقتصادية والخدمية.

٨. **Nazeef, Muhammed**، ٢٠٠٥م، تحليل الحقوق الاجتماعية والاقتصادية لمقترح إصلاح الكهرباء السودانية، *A socio-Economic Rights Analysis of the Sudan Electricity Reform Proposal*، حيث عرضت الدراسة لنظام تسويق الكهرباء،

وكيفية إمدادها، والتركيب الاقتصادي والاجتماعي للسكان، والعرض لشرائح المجتمع الأكثر استفادة من خدمات الإمداد، والحقوق القانونية لشرائح المجتمع التي لها أحقية في الحصول على الكهرباء.

- **مناهج البحث:** قام الباحث بالاستعانة بعدة مناهج متخصصة في دراسة الطاقة، متمثلة في:

١- المنهج الإقليمي The Regional Approach

يهتم هذا المنهج بدراسة إنتاج مورد اقتصادي (الكهرباء) داخل إطار إقليمي – وهو الدولة– ويعطى هذا المنهج قيمة حقيقية لإنتاج الدولة محل الدراسة، وكذلك دراسة مواقع محطات الإنتاج وتبعيتها لأي إقليم، وكذلك التوزيع الجغرافي لشبكات نقل وتوزيع الكهرباء على مستوى أقاليم السودان.

٢- المنهج الوصفي التحليلي

يقوم هذا المنهج بوصف الظاهرة الجغرافية محل الدراسة، وهى الكهرباء، وتحليل إنتاج هذا المصدر من مصادر الطاقة على مستوى الدولة، والبحث وراء السببية، ثم تعليل وتحليل كل هذا بواسطة الخرائط والأشكال البيانية.

٣- المنهج التاريخي التطوري

يعمل هذا المنهج على تعقب وتتبع التطور التاريخي لإنتاج الكهرباء بالسودان، ودراسة التطورات التي طرأت على ذلك، والتعرف على العوامل المؤثرة فيها.

٤- المنهج المحصولي The Commodity Approach

يعتبر هذا المنهج من أقدم وأسهل مناهج الدراسة في الجغرافيا الاقتصادية، فلا يخلو بحث جغرافي من الاعتماد على هذا المنهج، فبعد أن كان هذا المنهج مقصوراً فقط على حصر المساحات وكميات الاستهلاك والتجارة، أصبح طارحاً لأسئلة تخص السلع الاقتصادية وهى: أين تنتج وتُسَّوق وتستهلك؟، وأين يمكن أن تنتج وتُسَّوق وتستهلك؟، ولماذا تنتج وتُسَّوق وتستهلك؟، وكيف تنتج وتُسَّوق وتستهلك؟.

٥- مناهج الطاقة

تُعد مناهج الطاقة من أحدث المناهج في جغرافية الطاقة، وينضوي تحت هذا المنهج بعض المناهج الفرعية التي تحلل بعض عناصر موضوع البحث حول الطاقة الكهربائية، ومن هذه المناهج:

- **منهج مصدر الطاقة Energy Source Approach:** يهتم هذا المنهج بدراسة وتحليل مصدر الطاقة الكهربائية من حيث التعرف على أنماط إنتاجها، ورصد خصائصها ومواقعها.

- **منهج اقتصاديات الطاقة Energy Economy Approach**: يتناول هذا المنهج الاقتصاديات المختلفة للطاقة الكهربائية لدراسة طبيعة الكهرباء المنقولة، وكذلك مناقشة العوامل المؤثرة في ذلك.

- **منهج تحليل نظم الطاقة Energy Systems Analysis Approach**: يهتم منهج تحليل نظم الطاقة بدراسة كل مصدر من مصادر الطاقة الذي ساعد على إنتاج الكهرباء، كما يُعالج كل مصدر على أساس أنه نظام متكامل بمعزل عن باقي الأنظمة الأخرى.

- أساليب البحث: تتعدد الأساليب التي تم الاعتماد عليها في الدراسة، وتتمثل في:

- **الأساليب الكمية:**

اعتمدت الدراسة على مجموعة من الأساليب الكمية؛ نظراً لطبيعة البحث الإحصائية، ولهذا تم الاعتماد على مجموعة من المعادلات قسمها الباحث إلى ثلاث فئات: أما الفئة الأولى فقد ضمت المعادلات التوضيحية، وهى تلك المعادلات التي لم تطبق في البحث ولكن كانت تفسيريه في مواطن بعينها مثل: معادلات معامل السعة، والقدرة المتاحة، وقدرة التشغيل، ومعدل تدفق طاقة الرياح، أما الفئة الثانية فقد اشتملت على معادلات بسيطة تمثلت في نصيب الفرد من استهلاك الطاقة، ومعدل التغير، ومعدل نمو إنتاج الطاقة، والحمل المتوسط، وأخيراً تأتي الفئة الثالثة وهى المعادلات المتخصصة التي تمثلت في: معادلات الكفاءة الحرارية والكفاءة الإنتاجية أو التشغيلية، ودرجة الثقة في التيار

الكهربائي، والاستهلاك الذاتي لمحطات الوقود، ومُعامل الجودة، والقيمة الاتجاهية؛ حيث يقوم هذا البحث بدراسة إحصائية لكفاءة وجودة الطاقة.

- **الأساليب الكارتوجرافية:**

وذلك من خلال جمع بيانات وإحصاءات البحث، وإعداد قاعدة بيانات ثم تحليلها ثم عرضها في صورة خرائط ثم توزيع الظاهرات عليها باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية GIS لإنتاج الخرائط النوعية والكمية بالبحث.

وسوف يتناول البحث مجموعة من العناصر تدور حول كفاءة قطاع الطاقة الكهربائية في السودان ويمكن رصد ذلك في النقاط التالية:

- أولاً: إنتاج الكهرباء في السودان.
- ثانياً: كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية (الحرارية والمائية) بالسودان.
- ثالثاً: كفاءة شبكات الربط الكهربائي بالسودان.
- رابعاً: النتائج المترتبة على ضعف كفاءة الكهرباء بالسودان.
- خامساً: الإمكانات المستقبلية لرفع كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان.

- أولاً: إنتاج الكهرباء في السودان

تتمثل مصادر توليد الطاقة الكهربائية في السودان في ثلاثة مصادر رئيسه، وهي: مشتقات البترول، والغاز الطبيعي، والطاقة المائية، ونسبة ضئيلة من الطاقة المتجددة (خاصة الشمسية منها)، في حين لا تستغل مصادر أخرى نظراً لظروف البلاد الاقتصادية، ويمكن التعرف على تطور إنتاج الكهرباء والطاقة المنتجة وسعات التوليد الكهربائي من خلال ما يلي:

١- تطور إنتاج الكهرباء بالسودان

بدأ إنتاج الكهرباء في السودان منذ عام ١٩٠٨م حينما قامت شركة النور (قطاع خاص) بتركيب مولدات ديزل في منطقة بري بالخرطوم بطاقة بدأت من ١٠٠ كيلووات، ثم ارتفعت إلى ٥٠٠ كيلووات، وأخذت في الارتفاع حتى

وصلت إلى ٨٥٥ كيلووات. وفي عام ١٩٢٥م تعاقدت حكومة السودان مع شركات بريطانية لمدة ثلاثين عاماً لتطوير خدمات الكهرباء داخل العاصمة، فتم استبدال وحدات التوليد القائمة بأُخرى سعة ٣٠٠٠ كيلووات من خلال تركيب مولدات بخارية بمحطة بري(البدوي، ٢٠١٥م، ص: ٧٤)، وفي عام ١٩٥٦م تم التعاقد على تركيب ٤ مولدات بخارية بمحطة توليد بري بقدرة ٣٠ ميجاوات، وتم تشغيل أول مولد بالمحطة في عام ١٩٥٨م. كما تم تشغيل أول محطة توليد كهرومائية في عام ١٩٦٢م بخزان سنار بسعة ١٥ ميجاوات حيث بدأت الخطوط الأولى لإنشاء الشبكة القومية للكهرباء بشبكة النيل الأزرق بالخط الناقل ١١٠ كيلو فولت ليربط بين قطاع سنار – مدني – الخرطوم، كما تم وضع خطط لمعرفة الاحتياجات من الكهرباء منذ عام ١٩٦٧م عرفت باسم مشروع الطاقة الأول**(وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٥م(أ)، ص ٦١)**.

وفي عام ١٩٧٠م تم إنشاء أكبر محطة كهرومائية على الضفة الغربية من النيل الأزرق، وذلك بعد بناء خزان الرصيرص، وتلى ذلك دخول الوحدتين الأخريين في العام ١٩٧١م بسعة ٣٠ ميجاوات، وبداية من عام ١٩٧٥م دخلت الوحدات الرابعة والخامسة والسادسة والسابعة التشغيل على التوالي حتى عام ١٩٨٧م بسعة ٤٠ ميجاوات لكل وحدة، وفي عام ١٩٨٣م ثم تشغيل محطة توليد بري الجديدة بوحدات ألمانية بسعة ٤٠ ميجاوات، وفي عام ١٩٨٥م آلت مسئولية الأشراف علي خدمات الكهرباء بالأقاليم إلى الهيئة القومية للكهرباء وفي عام ١٩٩٤م تم الوصول إلى مشروع الطاقة الرابع، حيث أضافت هذه المشروعات للشبكة القومية ٢٨٠ ميجاوات توليد مائي بالروصيرص مع توليد حراري بلغ ٢٥٥ ميجاوات من محطة الشهيد وبري، وكذلك ٩٠ ميجاوات للشبكات المحلية بمدن الأقاليم خارج الشبكة القومية**(Nazeef, 2005, 65)**، وفي عام ٢٠٠٥م تم إنشاء وزارة للكهرباء ولكن ألغيت في عام ٢٠٠٧م حيث عاد إشراف الكهرباء إلى وزارة الطاقة والتعدين مرة أخرى، التي أضافت في عام ٢٠١٠م آلاف الكيلومترات من خطوط النقل ذات الضغط العالي

والمنخفض وامتدادات وتحسينات في شبكات التوزيع وإعادة تعمير وحدات التوليد العاملة وقاطرات لنقل الوقود **(مؤتمر الطاقة العربي العاشر،٢٠١٤م)**.

٢- الطاقة المنتجة وسعات التوليد الكهربائي

تتمثل مصادر الطاقة الكهربائية في السودان في المصادر الحرارية، ومصادر الطاقة المتجددة، وأهمها: المصادر المائية ومصادر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. وبلغت الطاقة التجارية (خاصة البترول، والكهرباء) بالسودان حوالي ٥,٧٨٠ مليون طن مكافئ بترول وذلك بنسبة ٤٥,٥%، في حين كان الإنتاج من مصادر الطاقة غير التجارية حوالي ٦,٩٢٦ مليون طن مكافئ بترول وذلك بنسبة ٥٤,٥% من إجمالي إنتاج الطاقة بالسودان عام ٢٠١٥م(**Ministry of Water Resources &Electricity in Sudan, 2016, P: 55)**. ويشير جدول (١) إلى إنتاج الكهرباء في السودان.

جدول (١) إنتاج الكهرباء في السودان خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٧م ميجاوات ساعة

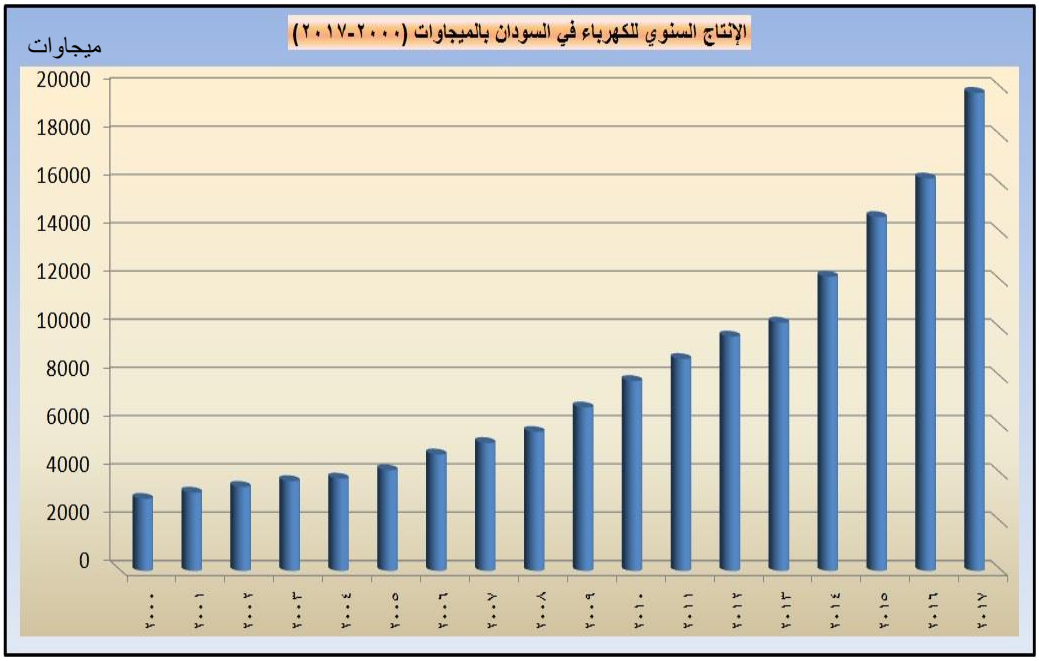
السنة	الإنتاج	نسبة التغير(*)	السنة	الإنتاج	نسبة التغير
٢٠٠٠	٢,٩٨٤	-	٢٠١٠	٧,٨٦٩	١٣,٩
٢٠٠١	٣,٢٤٣	٧,٩	٢٠١١	٨,٧٨١	١٠,٤
٢٠٠٢	٣,٤٨٢	٦,٩	٢٠١٢	٩,٧١١	٩,٦
٢٠٠٣	٣,٧٢١	٦,٤	٢٠١٣	١٠,٢٨٧	٥,٦
٢٠٠٤	٣,٨٢٤	٢,٧	٢٠١٤	١٢,٨١٩	١٩,٨
٢٠٠٥	٤,١٦٩	٨,٣	٢٠١٥	١٤,٦٦٢	١٢,٦
٢٠٠٦	٤,٨٢٨	١٣,٦	٢٠١٦	١٦,٢٦٢	٩,٨
٢٠٠٧	٥,٣٠١	٨,٩	٢٠١٧	١٩,٨٠٨	١٧,٩
٢٠٠٨	٥,٧٥٨	٧,٩	المتوسط	٨,٠١٦	١٠,٤
٢٠٠٩	٦,٧٧٣	١٤,٩			

المصدر:

(1) http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm

(2) I.E.A.World Fact book. At web Site Iea. Org.eg.

* قام الباحث بحساب معدل التغير السنوي من خلال المعادلة: **R=ln(P2/P1)/ T * 100**



المصدر: اعتماداً على جدول (١)

شكل (١) إنتاج الكهرباء في السودان خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٧م بالميجاوات

يتبين من جدول (١)، وشكل (١) أن إجمالي متوسط الإنتاج خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٧م تجاوز ٨ ألاف ميجاوات، وقد اقترب الإنتاج عام ٢٠٠٠م من ٣ ألاف ميجاوات، وأخذ في الزيادة حتى اقترب من ٢٠ ألف ميجاوات عام ٢٠١٧م.

ويتم توليد الكهرباء في السودان كما يتضح من جدول (٢)، من خلال الشبكة القومية والشبكات الإقليمية التي تتكون من مولدات ديزل(التوليد خارج الشبكة) ومدها بشبكات صغيرة لتوزيع الكهرباء للمدن النائية.

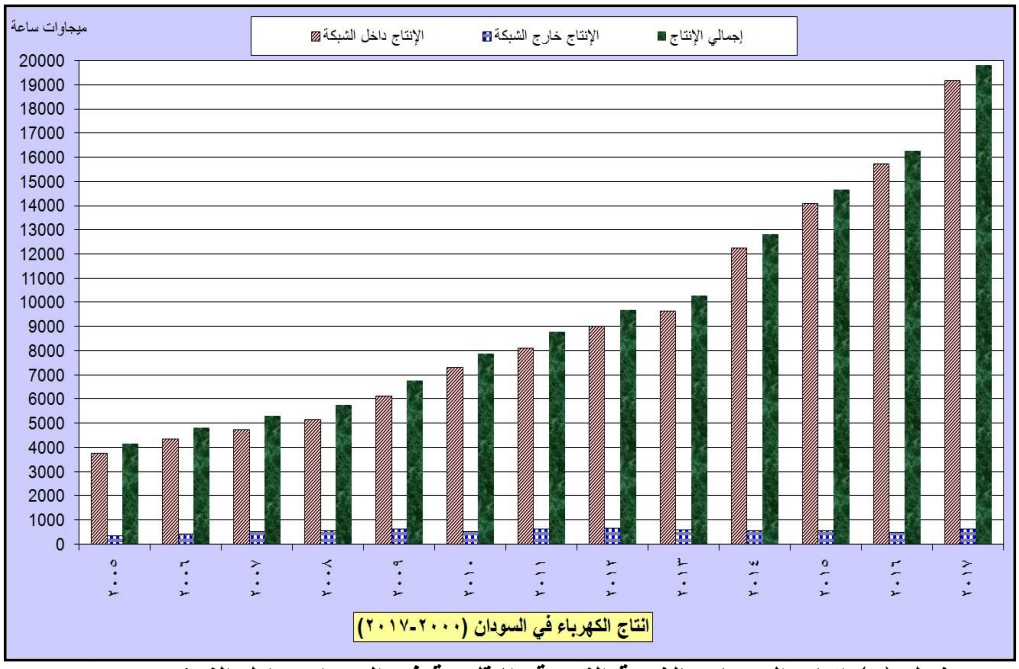
جدول (٢) إنتاج الكهرباء بالشبكة القومية والإقليمية في السودان

خلال الفترة ٢٠٠٠م-٢٠١٧م (ميجاوات ساعة)

السنة	الإنتاج داخل الشبكة		الإنتاج خارج الشبكة		إجمالي الإنتاج (ميجاوات ساعة)
	التوليد	% من إجمالي التوليد	التوليد	% من إجمالي التوليد	
٢٠٠٥	٣,٧٧٧	٩٠,٦	٣٩٢	٩,٤	٤,١٦٩
٢٠٠٦	٤,٣٦٩	٩٠,٥	٤٥٩	٩,٥	٤,٨٢٨
٢٠٠٧	٤,٧٦٦	٨٩,٩	٥٣٥	١٠,١	٥,٣٠١
٢٠٠٨	٥,١٦٦	٨٩,٧	٥٩٢	١٠,٣	٥,٧٥٨
٢٠٠٩	٦,١٣٤	٩٠,٦	٦٣٩	٩,٤	٦,٧٧٣
٢٠١٠	٧,٣٣٥	٩٣,٢	٥٣٤	٦,٨	٧,٨٦٩
٢٠١١	٨,١٢٠	٩٢,٥	٦٦١	٧,٥	٨,٧٨١
٢٠١٢	٩,٠٣١	٩٣,٠	٦٨٠	٧,٠	٩,٧١١
٢٠١٣	٩,٦٦٥	٩٣,٩	٦٢٢	٦,١	١٠,٢٨٧
٢٠١٤	١٢,٢٥١	٩٥,٦	٥٦٨	٤,٤	١٢,٨١٩
٢٠١٥	١٤,٠٩٤	٩٦,١	٥٦٨	٣,٩	١٤,٦٦٢
٢٠١٦	١٥,٧٣٩	٩٦,٨	٥٢٣	٣,٢	١٦,٢٦٢
٢٠١٧	١٩,١٧١	٩٦,٨	٦٣٧	٣,٢	١٩,٨٠٨
المتوسط	٩,٢٠٢	٩٣,٠	٥٧٠	٧,٠	٩,٧٧٢

المصدر: (١) مؤتمر الطاقة العربي العاشر، ٢٠١٤، ص:٣٤

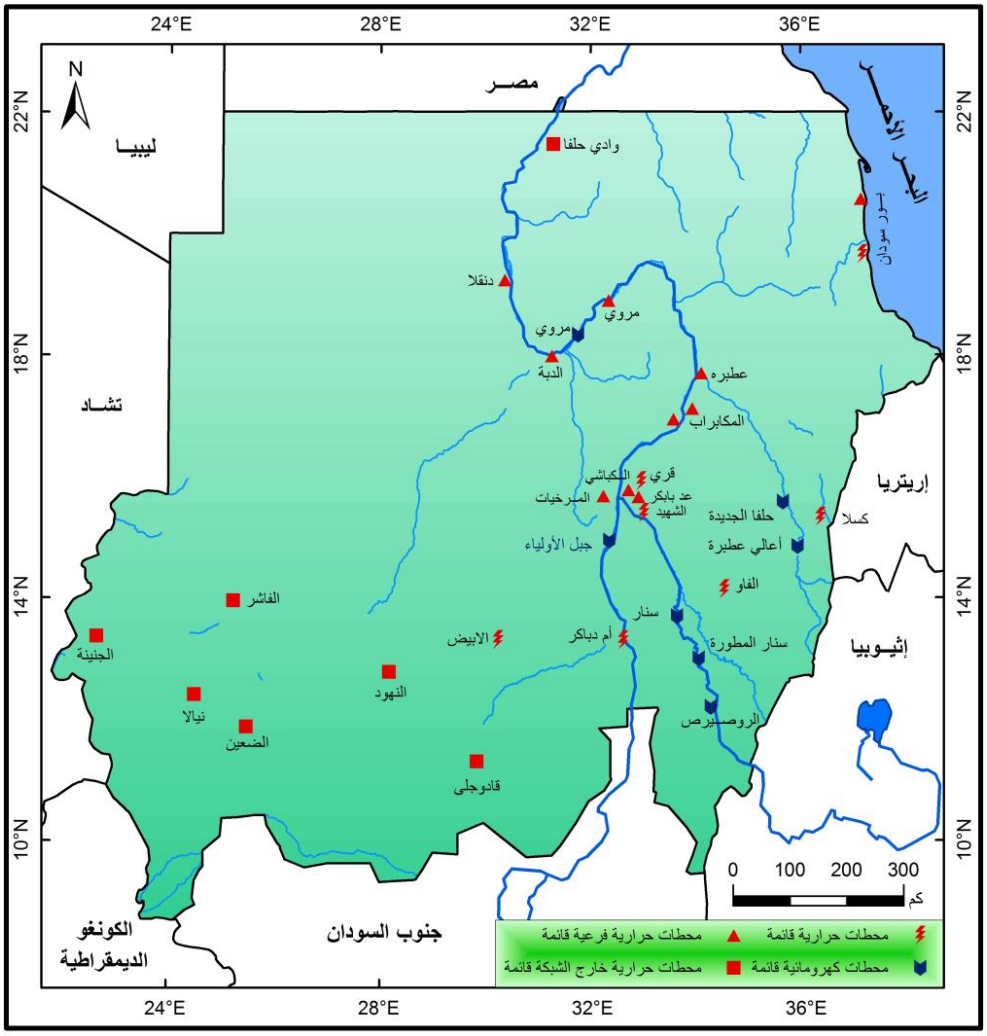
(2)http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm



شكل (٢) إنتاج الكهرباء بالشبكة القومية والإقليمية في السودان خلال الفترة ٢٠٠٠م-٢٠١٧م(ميجاوات ساعة)

فيتضح من جدول (٢)، وشكل (٢) أن متوسط التوليد خارج الشبكة بلغت نسبة ٧% مقارنة بنسبة التوليد داخل الشبكة والتي تشكل ٩٣%، كما انخفضت نسبة التوليد خارج الشبكة، حيث كان أقصاها ١٠,٣% عام ٢٠٠٨م، ثم انخفضت إلى أن بلغت تلك النسبة ٣,٢% عام ٢٠١٧م، وذلك بعد توسع الشبكة القومية نتيجة؛ لدخول سد مروي في الإنتاج**(وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٥م(ب)، ص ٣٥)**.

وتتعدد أنواع محطات إنتاج الكهرباء، ومنها: محطات التوليد المائية، ومحطات التوليد الحرارية ذات الاحتراق الداخلي "ديزل – غازية"، والتوليد من المد والجزر، بواسطة الرياح، والطاقة الشمسية)، وتركز الدراسة على محطات التوليد المائي والتوليد الحراري للكهرباء، كما هو مبين بشكل (٣).



المصدر: (١) Bernd, 2016, P: 66 (٢) Naeim Farouk, 2012, P: 95

(٣) Ministry of Water Resources & Electricity in Sudan, 2016

(٤) رجب، ٢٠١٧م، ص: ٣١١.

شكل (٣) محطات توليد الكهرباء في السودان

أما عن نوع التوليد الكهربائي فيشير جدول (٣) إلى إنتاج الكهرباء بالسودان خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٧م.

جدول (٣) إنتاج الكهرباء بالسودان حسب النوع خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٧م

بالميجاوات / ساعة

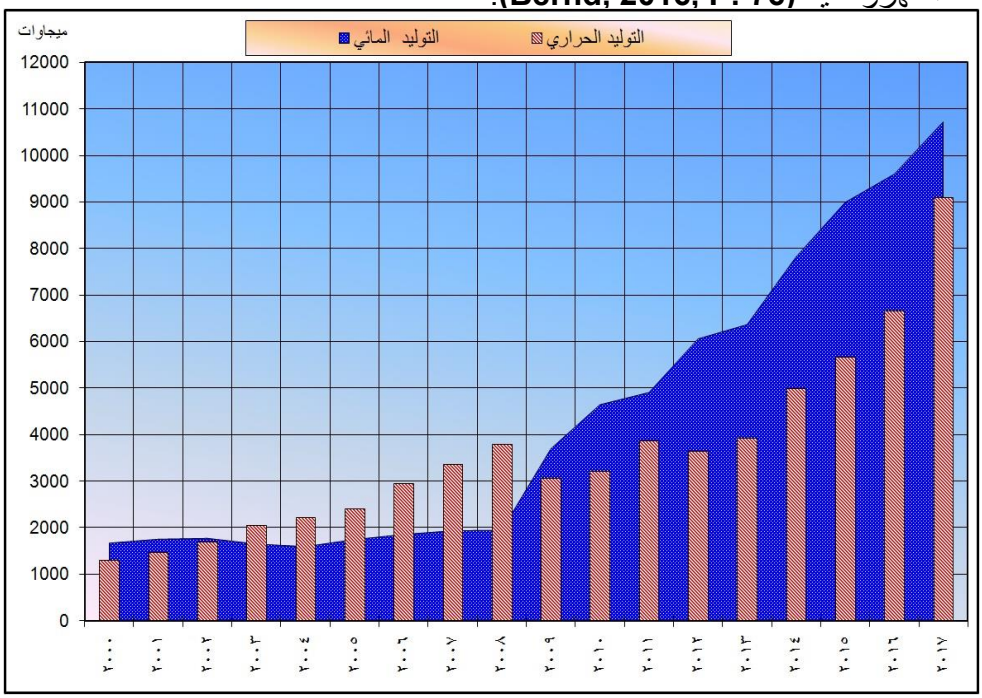
السنة	الإنتاج	كهرومائي	%	حراري	%
٢٠٠٠	٢,٩٨٤	١,٦٨١	٥٦,٣	١,٣٠٣	٤٣,٧
٢٠٠١	٣,٢٤٣	١,٧٦٥	٥٤,٤	١,٤٧٨	٤٥,٦
٢٠٠٢	٣,٤٨٢	١,٧٨٤	٥١,٢	١,٦٩٨	٤٨,٨
٢٠٠٣	٣,٧٢١	١,٦٦١	٤٤,٦	٢,٠٦٠	٥٥,٤
٢٠٠٤	٣,٨٢٤	١,٦٠٦	٤٢,٠	٢,٢١٨	٥٨,٠
٢٠٠٥	٤,١٦٩	١,٧٥٨	٤٢,٢	٢,٤١١	٥٧,٨
٢٠٠٦	٤,٨٢٨	١,٨٦٦	٣٨,٦	٢,٩٦٢	٦١,٤
٢٠٠٧	٥,٣٠١	١,٩٤٦	٣٦,٧	٣,٣٥٦	٦٣,٣
٢٠٠٨	٥,٧٥٨	١,٩٥٨	٣٤,٠	٣,٨٠٠	٦٦,٠
٢٠٠٩	٦,٧٧٣	٣,٧٠٦	٥٤,٧	٣,٠٦٧	٤٥,٣
٢٠١٠	٧,٨٦٩	٤,٦٥٠	٥٩,١	٣,٢١٩	٤٠,٩
٢٠١١	٨,٧٨١	٤,٩١٢	٥٥,٩	٣,٨٦٩	٤٤,١
٢٠١٢	٩,٧١١	٦,٠٦٣	٦٢,٤	٣,٦٤٨	٣٧,٦
٢٠١٣	١٠,٢٨٧	٦,٣٦٩	٦١,٩	٣,٩١٨	٣٨,١
٢٠١٤	١٢,٨١٩	٧,٨٢٢	٦١,٠	٤,٩٩٧	٣٩,٠
٢٠١٥	١٤,٦٦٢	٨,٩٩١	٦١,٣	٥,٦٧١	٣٨,٧
٢٠١٦	١٦,٢٦٢	٩,٥٩٧	٥٩,٠	٦,٦٦٥	٤١,٠
٢٠١٧	١٩,٨٠٨	١٠,٧١٩	٥٤,١	٩,٠٨٩	٤٥,٩
المتوسط	٨,٠١٦	٤,٣٨١	٥١,٧	٣,٦٣٥	٤٨,٣

المصدر: بتصرف عن: (١) مؤتمر الطاقة العربي العاشر، ٢٠١٤، ص:٣٤.

(2) http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm

يتبين من جدول (٣)، وشكل (٤) أن إنتاج الطاقة الكهرومائية قد بلغ متوسطة ٤,٣٨١ ميجاوات، خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٧م أي نحو ٥١,٧%، وبلغ متوسط التوليد الحراري ٣,٦٣٥ ميجاوات بنسبة ٤٨,٣%، وقد أخذت مساهمة التوليد المائي والحراري للكهرباء في التزايد بصورة منتظمة، إلا أن هناك انخفاضاً نسبياً في مساهمة التوليد الحراري في عام ٢٠٠٩م؛ نظراً لدخول كهرومائية سد مروي في خدمة الإنتاج، وفي عامي ٢٠١٢م، ٢٠١٣م وذلك مردودة لانفصال الجنوب وتقلص حصة السودان من البترول ومشتقاته،

أما في عام ٢٠١٥م؛ فكان بسبب دخول سدي عطبرة وسنار المطور للخدمة الكهرومائية **(Bernd, 2016, P: 76)**.



شكل (٤) إنتاج الكهرباء بالسودان حسب النوع خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٧م بالميجاوات

أ- التوليد الكهرومائي:

تتركز المحطات الكهرومائية في الجزء الجنوب الشرقي والأجزاء الشمالية من السودان؛ وذلك لارتباط تلك المحطات بنهر النيل ومن ثَمَ بناء السدود لإنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المائية.

وتُنتج الطاقة الكهرومائية الرئيسية في السودان من ثلاثة سدود أنشئت قبل عام ١٩٧٠م، بسعة إنتاجية قدرها ٣٠٠ ميجاوات، وشَكلت جملة إنتاج الكهرباء من محطات التوليد المائي حوالي ٨١% من الطاقة المولدة بالشبكة القومية للكهرباء في نفس العام مقارنة بنسبة ٧٠% خلال عام ٢٠١٢م، وبلغت مساهمة الطاقة الكهربائية ٧١٥ ألف طن مكافئ بترول من إمدادات الطاقة الأولية عام ٢٠١٣م**(مبارك، ٢٠١٤م، ص ٧٤)**.

وبلغ إجمالي القدرات المركبة للطاقة الكهرومائية في السودان ٧,٧١٦ ميجاوات، ولا يمثل المنتج منها سوى ٢٤,٥%، كما هو موضح بجدول (٤).

جدول (٤) قدرات محطات التوليد المائي بالسودان حتى عام ٢٠١٧م

بالميجاوات / ساعة

المحطات	سنة التشغيل	القدرة المركبة	القدرة المتاحة	القدرة التشغيلية (الإنتاجية)
سنار	١٩٦٢م	٤٩	١٥	١٢
حلفا الجديدة (خشم القربة)	١٩٦٤م	٧٧	١٥	١٠
الروصيرص	١٩٦٦م	١,٠٥٠	٢٨٠	٢٧٠
جبل الأولياء	٢٠٠٣م	٥٥	٣٠	١٩
مروي	٢٠٠٩م	٥,٥٨٠	١,٢٤٠	١,٢٥٠
أعالي عطبرة	٢٠١٥م	٨٣٤	٣٢٣	٣٢٠
سنار المطورة	٢٠١٥م	٦٦	١٤	١١
الإجمالي	**-**	**٧,٧١٦**	**١,٩١٧**	**١,٨٩٢**

Source: I.E.A.World Fact book. At web Site iea.org.eg.
http://enipedia.tudelft.nl/enipedia/index.php?title=Sudan/Powerplants&oldid=203418

يتضح من جدول (٤)، وشكل (٥) أن القدرات المركبة للمحطات الكهرومائية بالسودان تفوق أضعاف مثلاتها من القدرات المتاحة أو التشغيلية، فإجمالي القدرة المركبة بلغ ٧٧١٦ ميجاوات ساعة، في حين لم تتجاوز تلك القدرات المتاحة والتشغيلية نحو ١٩١٧ و١٨٩٢ ميجاوات ساعة على التوالي، وهذا يدلل على ضعف الإنتاج لتأخر الصيانة ولقِدم المحركات ولنقص مناسيب المياه في بعض شهور السنة، وعلى مستوى المحطات يُعد سد مروي هو الأكبر من حيث القدرة المركبة بقدرة بلغت ٥,٥٨٠ ميجاوات، أي ٧٢,٣% من إجمالي القدرات المركبة، وبقدرة تشغيلية بلغت ١,٢٥٠ ميجاوات، بنسبة ٦٦%، ونحو ٢٢,٤% من القدرة المركبة للمحطة، وعلى الجانب الأخر جاءت محطة سنار في المرتبة الأخيرة من حيث القدرة المركبة، ومحطة حلفا الجديدة في نهاية الترتيب من حيث القدرة التشغيلية.

ويمكن رصد أهم محطات توليد الطاقة الكهرومائية فيما يلي:

- **محطة توليد كهرباء سنار**

يقع خزان سنار على بعد ٣٠٠ كلم جنوب الخرطوم، وبدأت التحضيرات لتنفيذه عام ١٩٢٥م لأغراض الري، وفي شهر أكتوبر عام ١٩٥٩م بدأ العمل في إنشاء محطة توليد كهرباء سنار(*) وانتهى الإنشاء في نوفمبر ١٩٦٢م**(النور، ٢٠٠٩، ص ١٢٩)**.

- **محطة توليد كهرباء جبل أولياء**

يقع خزان جبل أولياء على بُعد ٤٤ كم من الخرطوم والذي بدأ تشييده في نوفمبر ١٩٣٣م واكتمل في أبريل ١٩٣٧م بغرض سد حاجة جمهورية مصر العربية حينها من المياه في فترة الجفاف، وجاءت فكرة الإنشاء لتوليد الكهرباء من مياه الخزان التي كانت تستغل لأغراض الري من خلال تركيب عدد ثمانية مجموعات بكل مجموعة ٥ مصفوفات وبكل مصفوفة اثنين توربين قدرة المصفوفة الواحدة ٣٨٠ كيلووات بإجمالي قدرة مركبة ٣٠,٤ ميجاوات لكل المحطة، وطبقت التكنولوجيا الحديثة للاستفادة من اقل فرق بين مستوى الماء أمام وخلف الخزان، وقد أكتمل المشروع منذ العام ٢٠٠٣م بقدرة مركبة بلغت ٥٥ ميجاوات، وتعمل المحطة طول العام عدا شهور يوليو وأغسطس وسبتمبر لانخفاض مستوى المياه**(البدوي، ٢٠١٥م، ص: ٦٧)**.

- **محطة توليد كهرباء حلفا الجديدة (خشم القربة)**

تقع محطة حلفا الجديدة (خشم القربة) على نهر عطبرة على بُعد ٤٣٨ كم من مدينة عطبرة وقد تم افتتاحه في عام ١٩٦٤م، كما كان هناك أربعة مولدات ديزل(**) (انخفض عدد الوحدات العاملة إلى وحدتين فقط ثم أوقف تشغيلهما منذ

---

* تحتوى محطة توليد كهرباء سنار على: عدد اثنين توربينة من نوع كابلان kaplan turbine بسعة إجمالية ١٥ ميجاوات، وعدد اثنين مولد كهربائي، وعدد اثنين محول كهربائي 11/110 KV **(النور، ٢٠٠٩م، ص ١٣٠)**.

** يوجد بمحطة حلفا الجديدة (خشم القربة) عدد ٤ وحدات ديزل لتحسين مستوى الجهد في الشبكة الشرقية، وهي:D1, D2, D3, D4، الوحدتين D1, D2 مولدات هولندية ماركة (HOLLEC) صممت لتوليد طاقة كهربائية بمقدار ٤ MW لكل وحدة. تعرضت الوحدة

٢٠١١م). ويحتوي الخزان على وحدتين كابلن بطاقة مقدارها ١٠,٦ ميجاوات للوحدتين، وكانت تعمل وحدتي الكابلن في الفترة من شهر يونيو حتى شهر ديسمبر فقط، لارتباط التوليد بالمياه الموجودة أمام السد، أما بعد تشييد خزان تكازي(*) في دولة إثيوبيا فالتوليد مستمر على مدار العام عدا أيام غسيل الخزان (ثلاثة أيام خلال الأسبوع الثاني من شهر أغسطس معتمداً على كمية تدفق نهر عطبرة) بالإضافة لعدد ثلاثة توربينات بطاقة تصميمية قدرها ٧,٢ ميجاوات، تعمل كمولدات عند ارتفاع مستوى الماء الأمامي، وتعمل كطلمبات عند انخفاض مستوى المياه في الخريف**(عباس، ٢٠١٢م، ص ٥٦)**.

- **محطة توليد كهرباء الروصيرص**

يقع خزان الروصيرص على بعد ٥٥٠ كم إلى الجنوب الشرقي من الخرطوم، وتعتبر محطة توليد الروصيرص(**) من أهم محطات إنتاج الكهرباء حيث ظلت منذ إنشائها تمثل العمود الفقري بالشبكة القومية للكهرباء(***) وكان

D1 لحريق أدى إلى تدميرها عام ١٩٩٥م، أما الوحدة D2 فكانت تنتج ٢ MW (وتوقفت لان إنتاجها اقل من السعة التصميمية لها)، والوحدة الثالثة D3 ماركة فيات الإيطالية تم تركيبها سنة ١٩٦٤م لكي تعمل كمولد احتياطي للمحطة وكانت تنتج ١,٤ MW، تناقص إنتاجها حتى وصل ٠,٨ MW، الوحدة D4 دنماركية الصنع تم تركيبها سنة ١٩٨٤م وتنتج حوالي ٢ MW. وبعد تشييد الشبكة الشرقية بجهد ٢٢٠ كيلوفولت توقف تشغيل مولدات الديزل وتم الاحتفاظ بها كمولدات احتياطية للمحطة **(عباس، ٢٠١٢م، ص ٧٦)**.

* يقع سد تكازي أو تاكيزي Tekeze على نهر تكازي في منطقة تيجري بشمال إثيوبيا على نهر عطبرة لإنتاج الطاقة الكهربائية، وهو مزود باربع توربينات تنتج مجتمعة ٣٠٠ ميجاواط من الكهرباء**(البدوي، ٢٠١٥م، ص:٨١)**.

** تتكون محطة الروصيرص من: سبعة وحدات توليد من نوع كابلان Kaplan turbine، وبحيرة الخزان وبها آليات إزالة الإطماء من أمام مداخل التوربينات، ووحدة عمليات رأس الخزان وهي مسئولة عن فتح أبواب صيانة الوحدات ونظافة مداخل التوربينات، وغرفة التحكم Control room وهي غرفة تشغيل الوحدات ومراقبة أدائها، وأربعة محولات الضغط العالي (٢٢٠/١١kv)، وورش الصيانة**(النور، ٢٠٠٩م، ص ٣١)**.

*** انتهى بناء سد الروصيرص عام ١٩٦٦م، وتم تركيب ماكينات التوليد بالمحطة في ثلاثة مراحل، تمثلت المرحلة الأولى في تركيب ٣ ماكينات سعة الواحدة ٣٠ ميجاوات خلال الفترة (يوليو ١٩٧١م - فبراير ١٩٧٢م)، وكانت المرحلة الثانية عام ١٩٧٩م حيث تم تركيب الماكينة الرابعة بسعة ٤٠ ميجاوات، وفي المرحلة الثالثة تم تركيب الماكينتين الخامسة والسادسة وتشغيلها في عام ١٩٨٤م، وفي عام ١٩٨٩م تم تركيب الماكينة السابعة بقدرة ٤٠ ميجاوات. وقد تم تحديث الوحدات الثلاث الأولى (١، ٢، ٣) خلال العاميين ١٩٩١- ١٩٩٢م

لها الدور الرئيس في توفير الطاقة الكهربائية الرخيصة لكثير من المشاريع التنموية خاصة في عهد أزمة الطاقة في سبعينات وثمانينات القرن الماضي، ولا تزال تلك المحطة من محطات التوليد المائي الهامة في السودان، فهي الثالثة من حيث كمية الطاقة المنتجة بعد كهرباء سد مروي وبعد تشغيل محطة سد أعالي عطبرة، هذا وسوف يزيد متوسط إنتاج المحطة السنوي بحوالي ٥٠% بعد اكتمال تعلية خزان الروصيرص بنهاية عام ٢٠١٨م، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في مخزون المياه بما يعادل ٤ مليار متر مكعب الأمر الذي مما يزيد من التوليد مع عدم تناقص المياه في شهور الصيف.

- **محطة توليد كهرباء مروي**

يقع سد مروي على مجرى نهر النيل في ولاية الشمالية عند جزيرة مروي، واكتمل بناءه في ٣ مارس ٢٠٠٩م، ويعتبر سد مروي أضخم مشروع قومي تنموي يهدف في الأساس إلى توليد طاقة كهربائية رخيصة نسبياً. بكميات توليد قدرها ١,٢٥٠ ميجاوات كما يسهم السد في عملية ري حوالي ٣٠٠ ألف هكتار من المشاريع الزراعية في ولاية الشمالية ويحميها من خطر الفيضان، كما يوفر بحيرة تخزين للمياه بطول ١٧٦ كلم، وتغذي كهرباء سد مروي مواقع الأحمال المختلفة عبر عشرة محطات فرعية(*) سواء في مستوى

من ٣٠ إلى ٤٠ ميجاوات وبذلك أصبحت السعة الإجمالية للمحطة ٢٨٠ ميجاوات(**سليمان، ٢٠١٦م، ص ١٣٣**).

* تتمثل في: **محطة المرخيات الفرعية:** في شمال غرب أمدرمان بسعة ٦٠٠ مليون فولت أمبير ويوجد بها محولان قدرة ٥٠٠/٢٢٠/٣٣ كيلو فولت، والمحطة مربوطة بخطي ٥٠٠ ك.ف بمحطة الكباشي وتغذي الشبكة بعدد أربعة مخارج جهد ٢٢٠ ك.ف، و**محطة الكباشي الفرعية:** التي تقع شمال الخرطوم بحري ويوجد بها محولان قدرة ٥٠٠/٢٢٠/٣٣ ك.ف بسعة ٣٠٠ م.ف.أ وبها عدد أربعة مخارج جهد ٢٢٠ ك.ف تغذي الشبكة، منهم خطى عد بابكر اللذان يربطان تلك المحطة بمحطة عد بابكر، و**محطة عطبرة الفرعية:** الواقعة جنوب مدينة عطبرة ويوجد بها محول قدرة ٥٠٠/٢٢٠/٣٣ ك.ف بسعة ٣٠٠م.ف.أ، والمحطة مربوطة بخط ٥٠٠ ك.ف مع محطة مروي، كما أن بها مخرجان في مستوى الجهد ٢٢٠ ك.ف احدهما يربط خط بورسودان والآخر احتياطي، و**محطة بورسودان الفرعية:** في جنوب مدينة بورسودان وبها عدد اثنين محول قدرة ٢٢٠/٣٣/١١ ك.ف بسعة ١٠٠م.ف.أ، مربوطة بخط ٢٢٠ك.ف من محطة عطبرة وبها أربعة مخارج ١١٠ ك.ف، و**محطة مروي الفرعية:** التي تقع شرق مدينة مروي، وبها محولان قدرة ٢٢٠/٣٣/١١ ك.ف بسعة

الجهد ٥٠٠ ك.ف مثل: المرخيات، الكباشي، وعطبرة، أو في مستوى الجهد ٢٢٠ ك.ف في كل من محطات مروي، الدبة، ودنقلا، وبورسودان. وعد بابكر **(سليمان، ٢٠١٦م، ص ١٠٢)**.

ب- **التوليد الحراري:**

تمتلك السودان سبع محطات حرارية في خدمة التشغيل وهي محطة الشهيد (محمود شريف)، وقري، والفاو، وأم دباكر، وبور سودان، والأبيض، وكسلا، مع عدد من الوحدات(**) سواء المُركبة التي تمثلت في ١٧٥ وحدة مقسمين بدورهم إلى ٢٤ وحدة للنوع الأول من التوليد، و١٤١ وحدة من النوع الثاني أو المتاحة التي بلغت ٧٥ وحدة لنوعي التوليد. وتتنوع بين: التوربينات البخارية، والتوربينات الغازية، والدورة المركبة والديزل وهذا ما يوضحه جدول (٥)، وهناك محطات كهربائية حرارية خارج الشبكة في الجزء الغربي ولكن لا تسد احتياجات المنطقة.

٤٠م.ف.أ مربوطة بخط ٢٢٠ ك.ف من محطة مروي وخط إلى محطة الدبة، ويوجد بها عدد ٦ مخارج سعة ٣٣ ك.ف، و**محطة الدبة الفرعية:** المتمركزة غرب مدينة الدبة، وتمتلك محولان ٢٢٠/٣٣/١١ ك.ف بسعة ٤٠م.ف.أ، تربط المحطة بخطوط ٢٢٠ ك.ف بمحطتي مروي ودنقلا ويوجد بها عدد ٦ مخارج ٣٣ ك.ف للربط مع الهيئة القومية للكهرباء، و**محطة دنقلا الفرعية:** الواقعة إلى الجنوب من مدينة دنقلا ويوجد بها محولان قدرة ٢٢٠/٣٣/١١ ك.ف بسعة ٤٠ م.ف.أ، ويربط المحطة بخط ٢٢٠ ك.ف بمحطة الدبة ويوجد بها عدد ٦ مخارج ٣٣ ك.ف للربط مع الشبكة القومية، و**محطة عد بابكر الفرعية:** الواقعة شمال شرق بحري وتربط بمحطة الكباشي بواسطة ٢ خط ٢٢٠ك.ف للربط مع الشبكة القومية، وأخيراً **محطتي المكابراب الفرعيتين:** على بعد ١٢كم جنوب الدامر وتتكون كل واحدة من محولين ٣٣/١١ ك.ف وتتغذي من محطة عطبرة بواسطة خطين جهد ٣٣ ك.ف (http://www.merowedam.gov.sd/transp-lines.html).

** للوحدات دلاله مهمة في تحديد الكفاءة الحرارية للمحطات، فكلما زاد عدد الوحدات زادت الكفاءة الحرارية وزادت الكهرباء المولدة، ولذا فهناك مقياس لكفاءة الكهرباء بالمحطات يتمثل في صياغة المعادلة الآتية:

$$\text{كفاءة الطاقة} = \frac{\text{مخرجات الطاقة}}{\text{مدخلات الطاقة}} \times ١٠٠$$ (عبده، ٢٠٠١م، ٩٧).

يتبين من قراءة جدول (٥)، وشكل (٥) حول قدرات محطات الكهرباء، وهي القدرات: المركبة (الفعلية)، والتشغيلية، والمتاحة(*) أن محطة بورسودان هي الأكبر في إمكانات القدرة المركبة بـ ٣,٧٦٥ ميجاوات؛ وذلك يعود لحداثة المحطة ومن ثم كفاءة محركاتها، ومحطة كسلا هي الأعلى في القدرة التشغيلية بـ ٥٣٤ ميجاوات؛ لاستمرار مصدر الإمداد من مشتقات البترول، في حين جاءت محطة الشهيد بأقسامها الثلاثة بأقل قدرة مركبه وقدرة تشغيلية وذلك بـ ١,٣١٧، و١٧٢ ميجاوات على الترتيب؛ لقلة عدد محركات التشغيل والإنتاج بالجازولين وزيت الوقود الثقيل.

* تُعد القدرة المركبة Installed Capacity (الاسمية أو النظرية) هي القدرة المتعاقد عليها مع الشركة الموردة بموجب المواصفات القياسية المتفق عليها، أما القدرة الفعلية Actual Capacity أو التشغيلية هي القدرة الحاصلة فعلًا في وقت معين لتغذية الحمل أو الطلب في ذلك الوقت (مصيلحي، ٢٠٠٧م، ١٥٦)، أما القدرة المتاحة Available Capacity فيتم التعبير عنها من خلال المعادلة التالية:

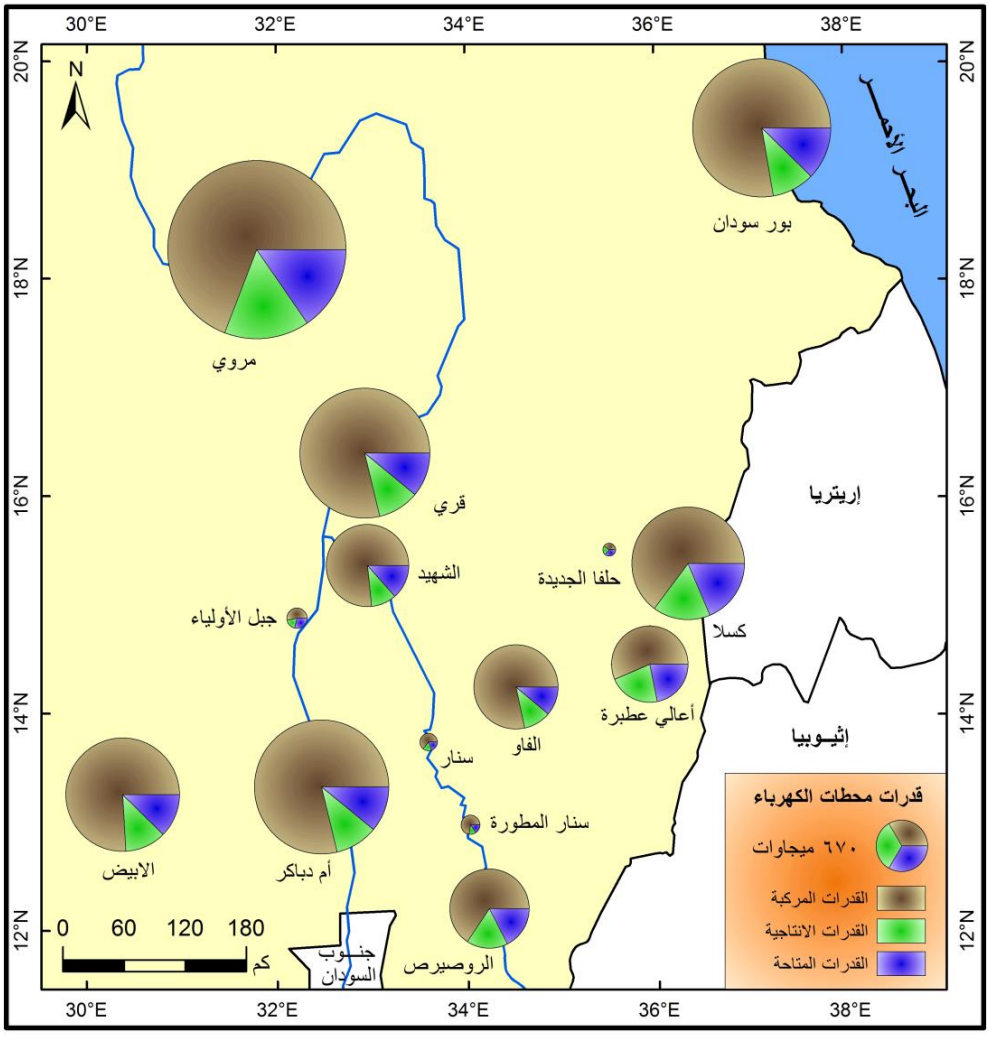
درجة الإتاحة = عدد ساعات التشغيل+ساعات الاحتياطي / عدد ساعات السنة (الديب، ١٩٩٣م، ٣٣٦).

جدول (٥) قدرات محطات التوليد الحراري بالسودان حتى عام ٢٠١٧م

المحطات	المحرك الرئيسي	سنة التشغيل	عدد المحركات	نوع الوقود	القدرة المركبة ميجاوات	القدرة المتاحة ميجاوات	القدرة التشغيلية (الإنتاجية) جيجاوات/ساعة
الشهيد محمود شريف ١	توربينات البخار	١٩٨٤	٢	غاز (الجازولين الثقيل)	٢١٢	٦٠	٢٨
الشهيد محمود شريف ٢		١٩٩٢	٢	الجازولين	٢٦٥	٥٠	٣٤
الشهيد محمود شريف ٣		١٩٩٤	٤	غاز (الجازولين الثقيل) + زيت الوقود الثقيل	٨٤٠	١٢٠	١١٠
قري ١	التوربين الغازي للدورة المركبة	٢٠٠٣	١	زيت الغاز + غاز البترول المسال (LPG)	١,٣٤٦	١٨٠	١٧٠
قري ٢		٢٠٠٣	١	زيت الغاز + غاز البترول المسال (LPG)	١,٣٤٦	١٨٠	١٧٠
قري ٤	توربينات البخار	٢٠١٠	٢	فحم الكوك	٦٧٥	١١٠	١٠٠
الفاو		٢٠١١	٦	زيت الوقود الثقيل	١,٤٠٨	٢٠٠	١٩٠
أم دباكر		٢٠١٦	١	البترول الخام	٣,٥٩٠	٥٠٠	٤٧٠
الأبيض		٢٠١٦	٢	مشتقات البترول	٢,٤٧٩	٤٠٥	٣٨١
بورسودان		٢٠١٦	٣	مشتقات البترول	٣,٧٦٥	٥٩٦	٤٨٣
كسلا		٢٠١٦	٢	مشتقات البترول	٢,٠٨٥	٦٠٠	٥٣٤
الإجمالي	**-**	**-**	**١٨**	**-**	**١٦,٦٦٥**	**٣,٠٠١**	**٢,٦٧٠**

Source:- I.E.A.World Fact book. At web Site iea.org.eg.

- http://enipedia.tudelft.nl/enipedia/index.php?title=Sudan/Powerplants&oldid=203418



المصدر: اعتمادا على جدول (٥)

شكل (٥) قدرات المحطات المائية والحرارية لتوليد الكهرباء بالسودان حتى عام ٢٠١٧م

ـ ثانياً: كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية (الحرارية والمائية).

تنقسم كفاءة محطات الطاقة الكهربائية إلى قياس مُعامل الكفاءة ومُعامل الجودة، وذلك كما يلي:

١- مُعامل كفاءة محطات الطاقة الكهربائية

ينقسم مُعامل كفاءة الطاقة الكهربائية إلى قسمين، وهما: معامل الكفاءة الإنتاجية أو التشغيلية للمحطات الحرارية والمائية، ومعامل الكفاءة الحرارية للمحطات الحرارية، وذلك على النحو التالي:

أ- الكفاءة الإنتاجية أو التشغيلية لمحطات توليد الكهرباء

يتمثل قياس معدلات الكفاءة التشغيلية أو الإنتاجية(*١) لمحطات توليد الكهرباء طبقاً للمحركات التي تتوفر بها من حيث العدد وقدرات التشغيل، وتعتمد الكفاءة الإنتاجية أو التشغيلية على حساب القدرات الكامنة والفعلية أي النسبة المئوية لكفاءة التشغيل لكل محطة، وتنخفض معدلات الكفاءة الإنتاجية للمحطات الحرارية لتوليد الكهرباء بالسودان، كما هو مبين بجدول (٦).

يتضح من جدول (٦) وشكل (٦) أن هناك انخفاضاً في الكفاءة التشغيلية للمحطات فمعظم تلك المحطات تعمل بأقل من ٥٠% فقط من إجمالي قدرتها المركبة، ويرجع ذلك إلى القصور في إمدادات مشتقات البترول والغاز الطبيعي، ومن ثم التراجع في الكميات التي يتم إنتاجها من المحطات الحرارية لتوليد الكهرباء، وكذلك لأعداد المحركات(*) فكلما كان عدد المحركات في

---

* تحسب الكفاءة التشغيلية أو الإنتاجية من خلال قسمة القدرة الإنتاجية على القدرة المركبة ثم الضرب في ١٠٠، وقد تم الاعتماد على هذه المعادلة في البحث، كما أن هناك طرق أخرى لحسابها، فتقاس بالاستخدام الأمثل لأقل قدر من الموارد "المدخلات" للحصول على أكبر قدر من "المخرجات"(Adeola, 2008, 29)، أو تحسب من خلال قدرة المحطة (Plant Capacity) PC عن طريق معادلة طاقة التشغيل من خلال ضرب الطاقة المولدة (Power Generated)PG في ساعات التشغيل (Running Hours) RP، والناتج يكون بـ MWH، من خلال المعادلة: **PC= PG(MW) ×RP(H)** (يوسف، ٢٠٠٤م، ص: ١٢٥).

* تتمثل أنواع **المحركات الميكانيكية Prime movers** في: **ماكينات الديزل** التي تتصف بكبر حجمها مقارنة بقدره إنتاجية محدودة لا تزيد عن ٢٠ ميجاوات، وكذلك سرعة التشغيل والتحميل وقلة احتياجها لمياه التبريد، كما تتمتع **التوربينات الغازية** بسرعة التشغيل والتحميل، وصغر الحجم وقدرة إنتاجية عالية، وقلة الاحتياج لمياه التبريد، وتتميز **التوربينات البخارية** بضخامة القدرة الإنتاجية ولذلك تكون قريبة من مركز الأحمال، وتحتاج للقرب من الأنهار،

تشغيل المحطة متزايد أدي ذلك إلى رفع الإنتاج، وأيضاً لكفاءة(*) تلك المحركات دوراً هاماً في الكفاءة الإنتاجية للمحطات الحرارية.

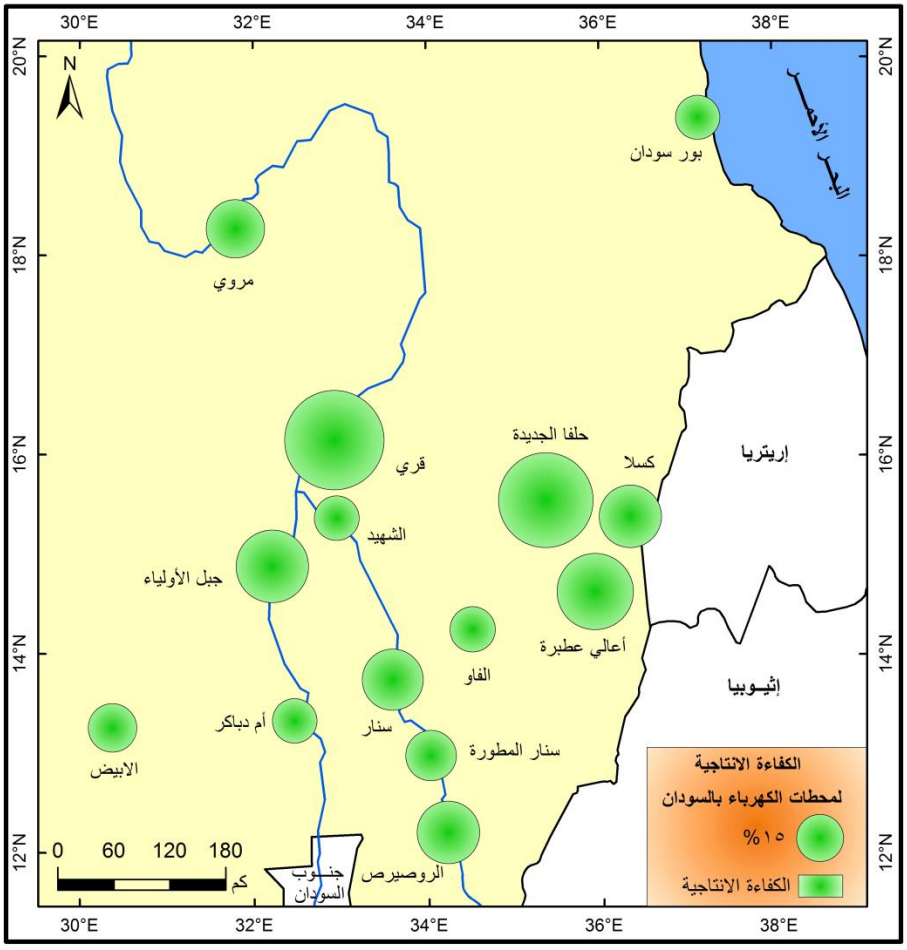
جدول(٦) الكفاءة الإنتاجية للمحطات المنتجة للكهرباء بالسودان عام ٢٠١٧م

	المحطات	القدرات			الكفاءة الإنتاجية (%)	عدد المحركات	الكهرباء المستهلكة سنوياً بالمحطات مليار كيلووات/ساعة
		المركبة	المتاحة	الإنتاجية			
الكهرومائية	مروي	٥٥٨٠	١٢٤٠	١٢٥٠	٢٢,٤	-	-
	الروصيرص	١٠٥٠	٢٨٠	٢٧٠	٢٥,٧	-	-
	جبل أولياء	٥٥	٣٠	١٩	٣٤,٥	-	-
	حلفا الجديدة	١٧	١٥	١٠	٥٨,٨	-	-
	سنار	٤٩	١٥	١٢	٢٤,٥	-	-
	أعالي عطبرة	٨٣٤	٣٢٣	٣٢٠	٣٨,٤	-	-
	سنار المطورة	٦٦	١٤	١١	١٦,٧	-	-
المتوسط		١٠٩٣	٢٧٤	٢٧٠	٣١,٨		-
الحرارية	الشهيد	١٣١٧	٢٣٠	١٧٢	١٣,١	٨	٠,١٧٣
	الفاو	١٤٠٨	٢٠٠	١٩٠	١٣,٥	٦	٠,٦٨١
	قري	٣٣٦٧	٤٧٠	٤٤٠	٦٤,٩	٣	١,٢٥٩
	أم دباكر	٣٥٩٠	٥٠٠	٤٧٠	١٣,١	١	٠,٤١١
	الأبيض	٢٤٧٩	٤٠٥	٣٨١	١٥,٤	٢	٠,٧٤٦
	بورسودان	٣٧٦٥	٥٩٦	٤٨٣	١٢,٨	٣	٠,١٣٤
	كسلا	٢٠٨٥	٦٠٠	٥٣٤	٢٥،٦	٢	٠,٥٩٣
المتوسط		٢١٨٩	٤٢٩	٣٨١	٢٢,٦	-	١٨٠,٢
متوسط الدولة		١,٦٤١	٣٥١,٥	٣٢٥,٥	٢٧,٢	-	١٨٠,٢

المصدر: من حساب الباحث بتصرف عن: جدول (٤)، وجدول (٥).

وأخيراً تتصف **التوربينات المائية** باعتمادها على الطاقة الهيدروليكية، وسرعة التشغيل والتحميل.

* من أسباب انخفاض كفاءة المحطات الحرارية بالسودان هو الاعتماد على أنواع محركات صينية الصنع، تتمثل في: محركات أريفا بجهد ٣٣ ك.ف (توزيع ونقل)، ومحركات ميسا ٣٣ ك.ف(توزيع ونقل)، ومحركات رونكس ١١ ك.ف(البدوي، ٢٠١٥م، ص: ٧١).



المصدر: اعتمادا على جدول (٦)

شكل(٦) الكفاءة الإنتاجية للمحطات المنتجة للكهرباء بالسودان عام ٢٠١٧م

ومن جانب أخر يرجع ضعف الكفاءة الإنتاجية بالمحطات المائية إلى انخفاض منسوب المياه التي يحتاجها السد للتوليد وكذلك للظروف الطبيعية التي تؤثر على الإنتاج، وتتمثل أعلى كفاءة إنتاجية في محطة قري الحرارية بما يقترب من ٦٥% من قدراتها المركبة وهذا لحداثتها ولامتلاكها لأربعة محركات تشغيل، كما تعتبر محطة حلفا الجديدة هي الأعلى في المحطات المائية بكفاءة إنتاجية تقترب من ٥٩% من قدرتها المركبة.

ويُعد قِدَم آلات وماكينات التشغيل بمحطات توليد الكهرباء بالسودان من أهم أسباب انخفاض الكفاءة الإنتاجية، فيوجد أكثر من ٤٠% من هذه المعدات خارج الخدمة لوجودها في التشغيل لأكثر من ٢٥ عاماً، مما أدى إلى ضعف كفاءتها، ومن ثَمَّ ضعف مردودها الإنتاجي مع تزايد هدرها واستهلاكها للطاقة لفصلها وتشغيلها أكثر من مرة، مع ضعف عمليات الصيانة(**) لتلك المعدات.

ب- الكفاءة الحرارية لمحطات الطاقة الكهربائية

يقصد بالكفاءة الحرارية للمحطات الحرارية(***) المُنتِجة للكهرباء، التعرف على مدى الاستفادة من الوقود المستخدم في توليد الكهرباء، أي قياس الكفاءة التحويلية لكمية الوقود اللازمة لإنتاج وحدة كهربائية (ك.و.س) **(فرج، ٢٠١٣م، ٣٨)**. ويمكن الوصول إلى الكفاءة الحرارية للمحطات بالسودان من خلال جدول (٧).

** تنفق السودان ١% فقط من أرباح قطاع الكهرباء على الصيانة والتجديد، وهذا ما يختلف عن أنظمة الكثير من دول العالم التي تصل إلى ٢٠% كحد أقصى في الـ USA ودول غرب أوروبا(Nazeef, 2005, 94).

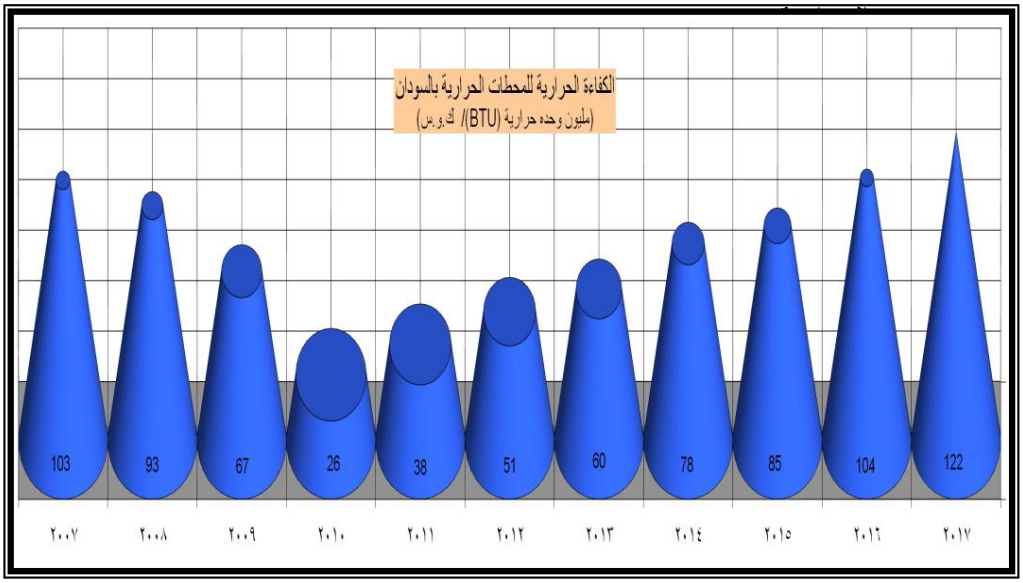
*** **معادلة الكفاءة الحرارية= كمية الكهرباء المولدة بالميجاوات× المعامل الحراري / كمية الوقود المستهلك×صافى القيمة الحرارية**

علما بأن المعامل الحراري = ٨٦٠،٣ كيلو كالورى، وصافي القيمة الحرارية = ٩٨٠٠ كيلو كالورى / ك.و.س (فرج، ٢٠١٣م، ٣٩).

جدول(٧) الكفاءة الحرارية لمحطات إنتاج الكهرباء بالسودان خلال الفترة (٢٠٠٧-٢٠١٧م)

السنة	الكهرباء الحرارية المولدة MWH	الكهرباء المستهلكة بالمحطات MWH	الكفاءة الحرارية (BTU)/ ك.و.س
٢٠٠٧	٣,٣٥٦	٢٧٤	١٠٣،٢٦٣،٦٣٠
٢٠٠٨	٣,٨٠٠	٣٤٦	٩٢،٥٩٤،١٣٩
٢٠٠٩	٣,٠٦٧	٣٨٤	٦٧،٣٣٧،٧٤٢
٢٠١٠	١,٢١٩	٣٩٣	٢٦،١٥٠،٩٣١
٢٠١١	١,٨٦٩	٤٢٠	٣٧،٥١٧،٦٨٣
٢٠١٢	٢,٦٤٨	٤٤١	٥٠،٦٢٣،٨٧٦
٢١٠٣	٢,٩١٨	٤١٠	٦٠،٠٠٣،٦١٧
٢٠١٤	٣,٩٩٧	٤٣٤	٧٧،٦٤٦،٢٣٨
٢٠١٥	٤,٦٧١	٤٦٣	٨٥،٠٥٥،٩٨٤
٢٠١٦	٥,٦٦٥	٤٥٨	١٠٤،٢٨٢،٢٦٠
٢٠١٧	٧,٠٨٩	٤٩١	١٢١،٧٢٤،٩١٦
المتوسط	٣،٦٦٤	٤١٠	٧٥،١٠٩،١٨٣

المصدر: اعتماداً على: جدول(٢) (٢) معادلة الكفاءة



المصدر: اعتمادا على جدول (٧)

شكل(٧) الكفاءة الحرارية للمحطات الحرارية للكهرباء بالسودان وحده حرارية (BTU)/ ك.و.س (٢٠٠٠-٢٠١٠م)

يتبين من جدول (٧)، وشكل (٧) تذبذب الكفاءة الحرارية للمحطات الحرارية المنتجة للكهرباء بالسودان خلال الفترة ٢٠٠٧- ٢٠١٧م؛ ويعود ذلك لزيادة معدلات إهدار المعدات المستخدمة بالمحطات للطاقة وانخفاض الصيانة، وتهالك الأجهزة والآلات. مما يؤدي إلى انخفاض القدرات الحرارية المنتجة من المحطات.

وهناك نوع آخر من الكفاءة يعطي مؤشراً قياسياً وتوضيحياً حول مجمل الكفاءة الحرارية. وهو قياس كفاءة المحتوى الحراري للطاقة المستغلة بالقطاعات الاقتصادية والخدمية، وذلك بالوحدة الحرارية البريطانية (BTU)(*) British Thermal Unit ووحدة قياسها تعرف بالكوادريليون Quadrillion، ويُعد الـ BTU مؤشراً بالغ الأهمية للتعرف على أي المصادر الأكثر مساهمة حرارية عن غيرها.

فقامت الوكالة الدولية للطاقة (EIA) بوضع تصور لدول العالم حول المحتوى الحراري لمصادر إنتاج الكهرباء وذلك بالوحدة الحرارية البريطانية BTU مقسومة على عدد الساعات المنتجة بالكيلووات ساعة.

ويتبين حسب البيانات الواردة من الـ EIA أن هناك تقارباً في المحتوى الحراري لمصادر الطاقة الكامنة والمستغلة بالسودان لإنتاج وحده حرارية بريطانية (BTU) لكل كيلووات من الكهرباء، فهناك تصاعداً في المحتوى الحراري بداية من عام ٢٠٠٧م بقيمة قدرها ٥٥٤٧٧ BTU، وصل هذا

* تختلف الكفاءة الحرارية لمصادر الطاقة وما تعطيه من وحدة حرارية بريطانية (BTU) من مصدر لآخر، فطن الفحم يساوى ٢٧ مليون BTU، وطن البترول (٤٥ مليون BTU)، وطن الغاز الطبيعي (٩٠ مليون BTU)(الديب، ١٩٩٣م، ٣٧٨، ٣٨٩)، وبصورة أخرى يعطي طن الفحم عند احتراقه وحدات حرارية تعادل ٠,٦٩٩ وحدة مما يعطيه احتراق طن البترول(حسن، ٢٠٠٦م، ٢١).

المحتوى إلى ٥٨١٣٣ BTU في عام ٢٠١٤م، ثم انخفض إلى ٥٠٣٤٥ BTU عام ٢٠١٧م (http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm).

كما تُعد الكفاءة الاستهلاكية أو ما يعرف بالاستهلاك الذاتي(**) للمحطات الحرارية المنتجة للكهرباء مؤشراً لتوضيح القيمة الاتجاهية للكفاءة الإنتاجية أو التشغيلية لتلك المحطات، فيشير جدول (٨) إلى معدل الاتجاه العام لاستهلاك المحطات الكهربائية للوقود بالسودان، وذلك من خلال قياس معدل الاستهلاك الذاتي (الكفاءة الاستهلاكية) للوقود بالمحطات بالجرام/كيلووات ساعة، أي استهلاك كل جرام مكافئ بترول مقابل إنتاج كيلووات ساعة من الكهرباء. قياس استهلاكها من الوقود مع معدلات إنتاجها.

** يقصد بالاستهلاك الذاتي للمحطة من الكهرباء: الكميات التي تم استهلاكها أثناء توليد الكهرباء مقاسه بالكيلووات/ساعة، ويُحسب بالمعادلة الآتية: **الاستهلاك الذاتي = الكهرباء المولدة – الكهرباء المرسلة**(مرعي، ٢٠٠٠م، ٢١، ٢٢).

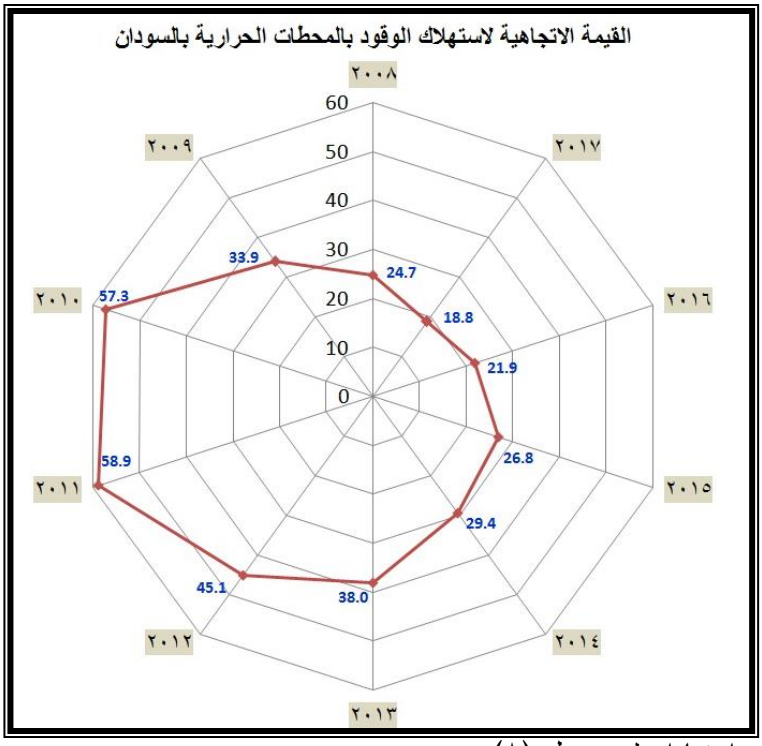
جدول(٨) قياس القيمة الاتجاهية لاستهلاك الوقود بالمحطات الحرارية بالسودان خلال الفترة (٢٠٠٧-٢٠١٧م)

السنة	الكهرباء الحرارية المولدة MWH	الكهرباء المستهلكة سنوياً بالمحطات مليار كيلووات/ساعة	كفاءة التشغيل الإنتاج/ لاستهلاك كيلووات/كيلووات	معدل تغير استهلاك المحطات	القيمة الاتجاهية لاستهلاك الوقود بالمحطات (%)(*)
٢٠٠٧	٣,٣٥٦	٢٧٤	٠,٠٨٢	-	٢٢,١
٢٠٠٨	٣,٨٠٠	٣٤٦	٠,٠٩١	٢٣،٦	١,٠
٢٠٠٩	٣,٠٦٧	٣٨٤	٠,١٢٥	١٠،٥	٣,٢
٢٠١٠	١,٢١٩	٣٩٣	٠,٣٢٢	٢،٣	٣٨,٠
٢٠١١	١,٨٦٩	٤١٠	٠,٢٢٥	٤،١	١٤,٨
٢٠١٢	٢,٦٤٨	٤٢٠	٠,١٦٧	٤،٢	١٠,٧
٢٠١٣	٢,٩١٨	٤٣٤	٠,١٤١	٣،٣	١١,٥
٢٠١٤	٣,٩٩٧	٤٤١	٠,١٠٩	١،٦	١٨,٤
٢٠١٥	٤,٦٧١	٤٥٨	٠,٠٩٩	٣،٨	٧,١
٢٠١٦	٥,٦٦٥	٤٦٣	٠,٠٨١	١،١	١٩,٩
٢٠١٧	٧,٠٨٩	٤٩١	٠,٠٦٩	٥،٩	٣,٢
المتوسط	٣,١٢٩	٤١٠	٠,١٣٧	٥,٦	١٣,٦

المصدر: اعتماداً على: (١) جدول(٣) (٢) معادلة الاتجاه العام لاستهلاك الوقود بالمحطات

يشير جدول (٨) وشكل (٨) إلى أن هناك تذبذباً في نسبة للقيمة الاتجاهية لاستهلاك الوقود بالمحطات الحرارية بالسودان وذلك بمتوسط بلغ ١٣,٦%، وكان عام ٢٠١٠م هو أعلى الأعوام استهلاكاً بنسبة ٣٨%، وعام ٢٠٠٨م هو اقلها وذلك بنسبة ١%، ويجب الوضع في الاعتبار بأن حداثة المعدات والتشغيل بنظام الدورة المركبة يعمل على انخفاض الاستهلاك الذاتي للمحطة.

* يتم قياس معدل الاتجاه العام لاستهلاك الوقود بالمحطات من خلال المعادلة: **ص=أ س/ (+-) ب**، حيث أن (ص) تمثل القيمة الاتجاهية للسنة المراد معرفة استهلاكها، أما (أ) يمثل قيمه ثابتة قدرها (٢٧٠,٨)، كما تُعبر (س) عن عدد السنوات، وأخيراً (ب) معدل تغير الظاهرة سنوياً(الزهار، ١٩٩٦م، ٤٢٢).



المصدر: اعتمادا على جدول (٨)

شكل(٨) القيمة الاتجاهية لاستهلاك الوقود بالمحطات الحرارية بالسودان (٢٠٠٨-٢٠١٧م)

٢- مُعامل جودة محطات الطاقة الكهربائية

يُعتبر مُعامل الجودة(*) من أهم المعاملات الإحصائية التي تستخدم لقياس كفاءة محطات توليد الكهرباء، فمعامل الجودة، هو نسبة مئوية تعكس مدى الاستفادة من الوقود المستخدم في إنتاج الكهرباء(**فرج، ٢٠١٣م، ٤١**)، ويلعب نوع مصدر الطاقة في توليد الكهرباء دوراً هاماً في جوده المنتج فمشتقات البترول هي الأعلى مساهمة في توليد الكهرباء بالسودان ومن ثَم فهي الأكثر في المحتوى الحراري، يليها الغاز الطبيعي باستخدام اقل من المصدر السابق ومن

* **معادلة مُعامِل الجودة =** $\frac{\text{الطاقة المولدة(ميجاوات/ساعة)}}{\text{كمية الوقود المستهلك(ميجاوات/ساعة) × المعامل الحراري}} / ١٠٠$

علما بأن المعامل الحراري= ٠,٠٨٦٨) (مرعي، ٢٠٠٠م، ٢١)، (فرج، ٢٠١٣م، ٤٢)

ثم فهذا المصدر هو الثاني في المحتوى الحراري واقلهم الفحم مساهمة في الإنتاج والمحتوى الحراري، ويحسب معامل الجودة، كما هو مبين بجدول(٩) وذلك استناداً على المعادلة المرفقة.

جدول(٩) معامل الجودة للمحطات الحرارية المنتجة للكهرباء خلال الفترة (٢٠٠٧-٢٠١٧م)

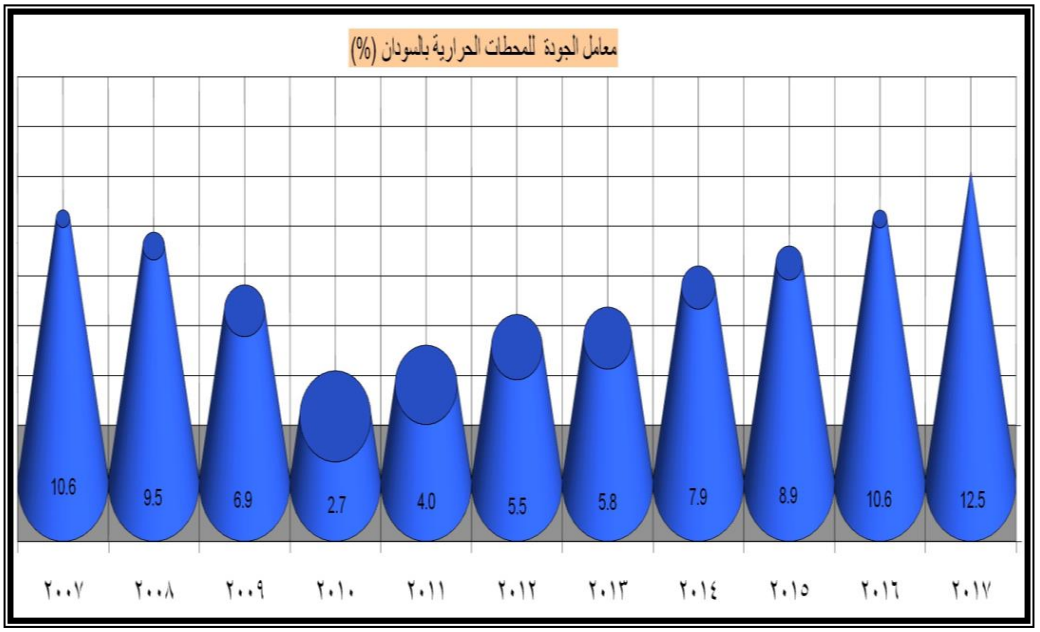
السنة	الوقود المستهلك بالمحطات من بالكوادريليون					الكهرباء الحرارية المولدة (MWH)	مُعامِل الجودة (%)
	مشتقات البترول (BTU)	الغاز الطبيعي (BTU)	الفحم (BTU)	إجمالي استهلاك الوقود الاحفوري	مكافئ الكهرباء (MWH)		
٢٠٠٧	٠،٧٢٩٥	٠،١٨١٢	٠،٠٠٠٢	٠,٩١١١	٢٧٤	٣،٣٥٦	١٠,٦
٢٠٠٨	٠،٦٧٦٥	٠،١٤٩٩	٠،٠٠٠٢	٠,٨٢٦٦	٣٤٦	٣،٨٠٠	٩,٥
٢٠٠٩	٠،٧٦٩٨	٠،١٩٤٥	٠،٠٠٠٢	٠,٩٦٤٥	٣٨٤	٣،٠٦٧	٦,٩
٢٠١٠	٠،٧٧٦٩	٠،٢١٤٣	٠،٠٠٠٢	٠,٩٩١٤	٣٩٣	١،٢١٩	٢,٧
٢٠١١	٠،٩٣٤٨	٠،٢٣٥٢	٠،٠٠١١	١,١٧١١	٤١٠	١،٨٦٩	٤,٠
٢٠١٢	٠،٩٧٨٥	٠،٣١٤٧	٠،٠٠٠٦	١,٢٩٣٨	٤٢٠	٢،٦٤٨	٥,٥
٢٠١٣	٠،٩٨٣٥	٠،٣٤٤٦	٠،٠٠٠١	١,٣٢٨٢	٤٣٤	٢،٩١٨	٥,٨
٢٠١٤	٠،٩٨٦٤	٠،٣٨١٨	٠،٠٠٠٢	١,٣٦٨٤	٤٤١	٣،٩٩٧	٧,٩
٢٠١٥	١،٠٢٩٥	٠،٣٩٣٤	٠،٠٠٠٢	١,٤٢٣١	٤٥٨	٤،٦٧١	٨,٩
٢٠١٦	١،٠٨١٤	٠،٣٧٣٢	٠،٠٠٠٢	١,٤٥٤٨	٤٦٣	٥،٦٦٥	١٠,٦
٢٠١٧	١،٠٣٨١	٠،٤٤٢٢	٠،٠٠٠٢	١,٤٨٠٥	٤٩١	٧،٠٨٩	١٢,٥
المتوسط	٠,٦٤٤٤	٠,١٩٥٤	٠,٠٠٠٢	٠,٨٣٩٩	٤١٠	٣،٦٦٤	٧,٧

المصدر:(١)جدول(٣) (٢) ipdbproject/IEDIndex3.cfm/http://www.eia.gov/cfapps

(٣) معادلة معامل الجودة.

ويتراوح المتوسط العالمي لمعامل الجودة للمحطات الحرارية بين ٣٥-٤٠% مع معدلات استهلاك تشغيلية للمحطات لا تزيد على ٥% **(دليل الطاقة، ٢٠٠٥م، ص: ١٢٦)**، وبناءً على ما سبق يتضح من قراءة جدول(٩) وشكل (٩) انخفاض معامل الجودة على مستوى كافة المحطات الحرارية المولدة للكهرباء بالسودان مع وجود معدلات استهلاك مرتفعة لطاقة التشغيل تتجاوز ١٠% في بعض المحطات، كما أن هناك تبايناً زمنياً في النسبة المئوية لجوده الكهرباء بالسودان طبقاً لمصدر الطاقة المساهم في التوليد، فانخفضت النسبة عام ٢٠١٠م إلى ٢,٧%؛ لانخفاض مساهمة منتجات الفيرنس في إنتاج الكهرباء، وبداية من عام

٢٠١٢م حَول السودان ٢٧% من إنتاجه من الفيرنس والجاز أويل إلى كهرباء، مما ترتب عليه رفع كفاءة جوده المحطات ومن ثم تحسناً ملحوظاً في جودة المنتج **(جامعة الدول العربية، ٢٠١٤م، ص: ٩)**، وهذا ما اتضح في عام ٢٠١٧م.



المصدر: اعتمادا على جدول (٩)

شكل(٩) معامل الجودة للمحطات الحرارية المنتجة للكهرباء خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠١٠م)

- ثالثاً: كفاءة شبكات الربط الكهربائي بالسودان.

١- التوزيع الجغرافي لشبكات الربط الكهربائي في السودان

تنتقل الطاقة الكهربائية بالسودان من خلال اثنين من أنظمة شبكات النقل(*) المتصلة أو المترابطة(**)، وهما: شبكة النيل الأزرق والشبكة الغربية، وهي

* يوجد نوعان من أنظمة شبكات التوزيع وهما: شبكة التوزيع الإشعاعي وشبكة التوزيع المترابط؛ أما شبكة التوزيع الإشعاعي فتترك مسار المحطة وتمر عبر شبكة المنطقة مع عدم وجود اتصال بأي إمدادات أخرى، ويوجد هذا النموذج من الشبكات في شبكة الإمداد بالمناطق الريفية، أما شبكة التوزيع المترابط فتتصل بأي نقاط أخرى وبها مرونة في غلق اتجاهات من الشبكة أو فتحها دون التأثير على نقل الكهرباء بكل الشبكة - ما يُعرف فنياً

شبكات إقليمية غير موحدة لا تغطي سوى جزءاً صغيراً من البلاد، والمناطق التي لا تغطيها الشبكة تعتمد على مولدات الديزل الصغيرة.

وقد وصل إجمالي الخطوط الرئيسة لنقل الكهرباء في السودان عام ٢٠١٣م إلى ٤٦,٦٤١ كم كما هو وراد بجدول (١٠)، وتختلف تلك الأطوال حسب الجهد(*)، فبلغ أطوال خطوط نقل الكهرباء فائقة الجهد (جهد ٥٠٠ كيلو فولت KV) نحو ٩٦٥ كم، وذلك للربط بين ثلاث محطات، أما الخطوط ذات الجهد المرتفع (جهد ٢٢٠ KV) فبلغت حوالي ٢٣٠٨ كم وهي تربط بين عشرة محطات، وجهد ١١٠ KV بطول ١٠٧٥ كم للربط بين أربع محطات، وبلغت أطوال خطوط الجهد المتوسط (٦٦ KV) نحو ٢٩٣ كم، للربط بين ثلاث محطات، وتقوم خطوط جهد (٥٠٠، ٢٢٠، ١١٠، ٦٦ KV) بالربط بين محطات التوليد بمراكز الأحمال.

بتبديل الإغلاق والفتح-، وذلك من خلال التحكم عن بُعد، أو من خلال الخطوط في مراكز التحكم (Eseosa, Emmanuel, 2012, 99).

** ما يعيب الشبكة المترابطة أنه إذا زاد الترابط بها يصعب السيطرة عليها والتحكم فيها، ويتمثل الحل لهذه المشكلة في فكرة الارتباط الكامل بين مجموعات من الشبكة الكهربائية المتجاورة التي يمكن السيطرة عليها كوحدة ثم يتم ربط هذه المجموعات بواسطة خطوط ربط لتصبح شبكة كهربائية موحدة(حسن، ٢٠٠١م، ص ص: ٤٩، ٥٠).

* تتعدد مسميات خطوط نقل الكهرباء، فهناك الجهد الفائق(٥٠٠ ك.ف)، والجهد المرتفع(١٣٢، و٢٢٠، و٣٣٠ ك.ف)، والجهد المتوسط(٦٦، و٣٣ ك.ف)، والجهد المنخفض (١١ ك.ف)(الزهار، ١٩٩٦م، ص: ٣٣٨).

جدول (١٠) أنواع خطوط نقل الكهرباء الرئيسية في السودان والسعات التحويلية حتى عام ٢٠١٣م

البند	خطوط الجهد (كيلو فولت KV)						المجموع
	١١	٣٣	٦٦	١١٠	٢٢٠	٥٠٠	
أطوال خطوط النقل(كم)	١٨٧٤٤	٢٣٢٥٦	٢٩٣	١٠٧٥	٢٣٠٨	٩٦٥	٤٦٦٤١
سعات المحطات التحويلية (ميجافولت أمبير)	-	-	٧١	٣٣٢٠	٦٠٩٩	٣٥١٠	١٣٠٠٠

المصدر: بتصرف عن: (١) مؤتمر الطاقة العربي العاشر، ٢٠١٤م، ص ٦٤.
(2)http://www.geni.org/globalenergy/library/national_energy_grid/sudan/sudanesenationalelectricitygrid.shtml

أما عن خطوط نقل الكهرباء الفرعية التي تعرف بشبكات التوزيع الداخلية فهي تتمثل في ثلاثة مستويات للتوزيع الداخلي للكهرباء وهي أيضاً خطوط متوسطة الجهد ٣٣(كيلوفولت)، وخطوط منخفضة الجهد(**) (١١ كيلو فولت و٠,٤١٥ KV)، فيوجد بالسودان نحو ١٧٠٠٠كم لخطوط جهد ٣٣KV منذ عام ٢٠٠٦م، وصلت إلى ٢١٠٠٠ كم عام ٢٠١٠م ثم إلى ٢٣٢٥٦ كم عام ٢٠١٣م، ووصلت الخطوط الفرعية لنقل الكهرباء ذات جهد ١١KV إلى ٣٠٠٠ كم عام ٢٠٠٦م، ثم إلى ٥٠٠٠ كم عام ٢٠١٠م، ثم إلى ١٨٧٤٤كم عام ٢٠١٣م، وهناك أيضاً خطوط جهد ٠,٤١٥ KV بلغت ٦٠٠٠ كم عام ٢٠٠٦م ثم بلغت ٩٥٠٠ كم عام ٢٠١٠م ثم ٣٥٤٨٧كم عام ٢٠١٣م، كما هو مبين بجدول (١١) **(مؤتمر الطاقة العربي العاشر،٢٠١٤م، ص: ٨٥)**. ولتلك الشبكات بالغ

** تعمل الكثير من خطوط نقل الكهرباء بالسودان على نقل الكهرباء المنخفضة الجهد، وذلك بداية من عام ١٩٧٣م حتى عام ١٩٩٦م وفي تلك الفترة هيمنت على الشبكة خطوط ٣٣KV، ١١ KV بواسطة ٢٠٠ محطة فرعية تغطي احتياجات الاستهلاك (Ikeme, Obas, 2005, 1215).

الأثر في الربط بين مناطق التكدس السكاني في عواصم ولايات وسط وشرق السودان.

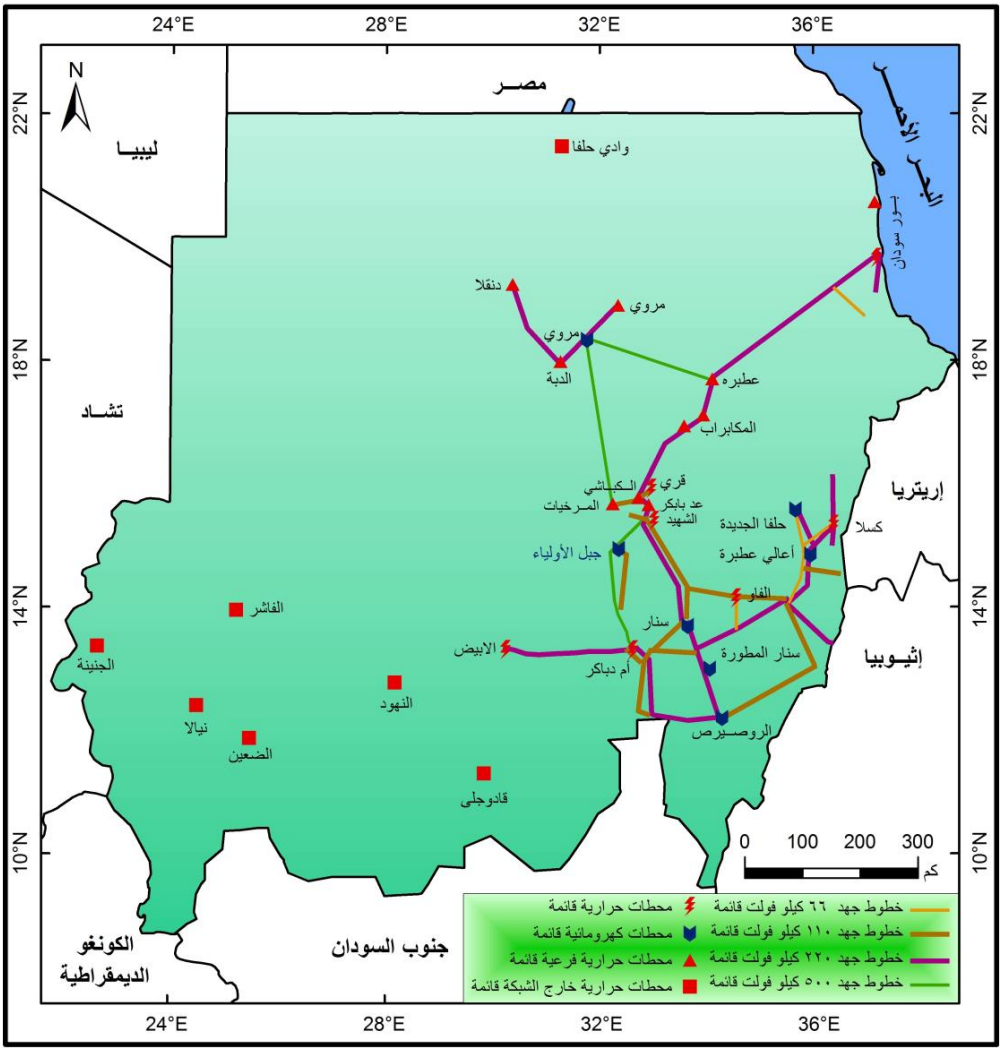
جدول (١١) أطوال خطوط توزيع ٠,٤١٥، و١١، و٣٣ KV كيلو فولت عام ٢٠١٣م

المدن/المناطق	٠,٤١٥ KV (كم)	١١ KV (كم)	٣٣ KV (كم)	الإجمالي
الخرطوم	١٨٨٧٥	١٥٢٦٥	٥٢٢	٣٤٦٦٢
الجزيرة	١٠٦٤٨	١٦٤١	٢١٨٦٦	٣٤١٥٥
المنطقة الشرقية	١٢٥٨	٦٣٣	٢١٨	٢١٠٩
كريمة	٤٤٥	٢٥	٢٠٩	٦٧٩
دنقلة	٢٠٠	١٥٠	٢٠٠	٥٥٠
وادي حلفا	١٨٣	٢٣	١٥	٢٢١
شندي	٨٠٥	٣٢٣	١٣	١١٤١
عطبرة	٦٨٥	٢٦٥	٨٤	١٠٣٤
بور سودان	٤٥٠	١٤٠	١١	٦٠١
الابيض	١٠٦٣	١٤١	٦٠	١٢٦٤
أم روابة	١٣٣	١٢	٩	١٥٤
الفاشر	٢١٦	٥٦	١٦	٢٨٨
نيالا	٤٧٣	٥٦	٢١	٥٥٠
الجنينة	٥٣	١٤	١٢	٧٩
الإجمالي	٣٥٤٨٧	١٨٧٤٤	٢٣٢٥٦	٧٧٤٨٧

المصدر: مؤتمر الطاقة العربي العاشر،٢٠١٤م، ص: ٨٥

http://www.geni.org/globalenergy/library/national_energy_grid/sudan/sudanesenationalelectricitygrid.shtml

وهناك ما يعرف بخطوط الدوائر المزدوجة التي تضم حوالي ١٨٠كم لنقل طاقة بجهد KV١٣٢/٣٣٠، و١١٤ كم بجهد KV٣٣/١٣٢، و٧٩٨ كم بجهد KV١١/٣٣، و١٨،٤٣٠ كم بجهد KV٠،٤١٥/٣٣ وجهد KV٠،٤١٥/١١ **(مؤتمر الطاقة العربي العاشر،٢٠١٤م، ص: ٨٥).**



المصدر:(١) Bernd, 2016, P: 66

(٢) Ministry of Water Resources & Electricity in Sudan, 2016

(٣) Naeim Farouk, 2012, P: 98

شكل(١٠) شبكات خطوط التوزيع الداخلي لنقل الكهرباء في السودان من ٢٠٠٦-٢٠١٣م

ويجب الإيضاح أن خطوط نقل الكهرباء السابقة تصل بين محطات التوليد وأسواق الاستهلاك من خلال محطات التحويل(*) سواء لرفع أم خفض الجهد ومراكز التقوية**(Eseosa, Emmanuel, 2012, 94, 95)**.

وتوجد عوامل جغرافية مؤثرة في توزيع شبكة الكهرباء مثل: التضاريس حيث يتطلب الأمر استواء السطح وصلابة التربة ونوعيتها، والمناخ المناسب حيث الابتعاد عن مناطق هبوب الرياح والعواصف الرعدية، والسكان حيث الابتعاد عن المناطق ذات الكثافات السكانية العالية. وهناك عوامل ثانوية مثل سعر الأرض حيث تتطلب المحطات مساحات كبيرة، وهذا ما لم يكن متاحاً في المناطق المرتفعة الثمن، فضلاً عن ذلك احتياج المحطات لمحيط خالي تماماً من السكان.

٢-كفاءة شبكات الربط الكهربائي في السودان

تتمثل دراسة كفاءة شبكات الربط الكهربائي في كفاءة النقل والإمداد وكفاءة التغطية، وذلك على النحو التالي:

أ- كفاءة النقل والإمداد

تتمثل كفاءة النقل والإمداد لشبكات الكهرباء في السودان من خلال التعرف على نسب فقد الكهرباء مع النقل، وهناك منظومة متكاملة للكهرباء تعرف باسم

* هناك محطات تحويل تعمل على رفع جهد التوليد بجوار محطات التوليد وذلك لإرسال الكهرباء لمسافات أطول وصلت مع التطور التكنولوجي إلى ١,٠٠٠كم، ويتم تخفيض الجهد من خلال محطات أخرى وربطها بخطوط الجهد المتعددة(عبده، ٢٠٠١م، ٧١).

أشكال الطاقة الكهربائية(*)، وهي تتمثل في الطاقة المولدة أو المنتجة، والطاقة المرسلة أو المنقولة، والطاقة المستهلكة أو المباعة، ويمكن أن يضاف إلى ما سبق الطاقة المستلمة، وهي حلقة وسطى بين المنقولة والمستهلكة، أما الطاقة المفقودة فهي حلقة مرتبطة بين كل أشكال الطاقة الكهربائية سابقة الذكر.

وتظهر الحاجة إلى تقليل فواقد الطاقة الكهربائية في شبكات النقل والتوزيع بسبب التكلفة العالية التي تتحملها الجهات المولدة للكهرباء بسبب تلك الفواقد، وهناك نوعان من أنواع خسائر فقد الكهرباء تظهر في شبكات التوزيع أثناء توريدها للمستهلكين وهي الخسائر الفنية والخسائر التجارية، وترجع الخسائر الفنية إلى الطاقة المشتتة في النقل والتحويل والتوزيع والمعدات المستخدمة في ذلك، كما يُعد ضعف مقاومة الأسلاك وظروف المناخ، وتراكم الأتربة على

* تتعدد أشكال منظومة الكهرباء؛ حيث تتمثل في: الكهرباء المولدة وهي إجمالي الكهرباء المنتجة من محطة التوليد قبل إرسالها للشبكة مقاسه بالكيلووات/ساعة، والكهرباء المرسلة، وهي الكهرباء المولدة مطروحاً منها الاستهلاك الذاتي للمحطة مقاسه بالكيلو وات/ساعة، والكهرباء المرسلة وهي الكهرباء المرسلة بعد أن يستبعد منها فاقد الشبكات في نقل وتوزيع الكهرباء من مراكز توليدها إلى أماكن استهلاكها(عبده، ٢٠٠١م، ٩٩).

ويقصد بمعامل السعة هو نسبة ما يمكن استغلاله من القدرة الاسمية للمحطات في الإنتاج، ويحسب بالمعادلة الآتية (معامل السعة = الحمل المتوسط – القدرة الاسمية ×١٠٠)، أما الحمل المتوسط حمل التشغيل الفعلي للمحطة ويحسب بالمعادلة الآتية: (Gujba, et al, 2011, 970):

$$\text{الحمل المتوسط} = \frac{\text{الكهرباء المولدة بالميجاوات/ساعة}}{\text{عدد ساعات السنة}}$$

العازلات، وطول شبكة النقل وتهالكها، وسرقة التيار الكهربائي من أبرز أسباب فقد الكهرباء(**مرعي، ٢٠٠٠م، ص: ٤٦**). أما الخسائر التجارية فتنتج عن حالات السرقة والعدادات المعيبة والأخطاء في قراءة العداد(**مبارك، ٢٠١٤م، ص: ١٧٩**).

وتوجد قيود يجب وضعها في الحسبان عند نقل الكهرباء من مواقع توليدها إلى أسواق استهلاكها ومنها معامل الحمل في محطات التوليد وحجم الطلب المتوقع علي الكهرباء، ومواجهة التغيرات الجوية التي قد تؤدى إلى وجود خلل أو تمزق في أسلاك الشبكة(**الديب، ١٩٩٣م، ص: ٥٥٥**).

وقد حققت عملية نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية بالسودان إجمالي خسائر بلغت ٣٢ مليون كيلووات/ ساعة عام ١٩٨٤م وفقاً لتقرير البنك الدولي، ثم وصلت تلك الخسائر إلى ١٨٩٨ مليون كيلووات/ ساعة في عام ٢٠٠٩م، وذلك في عمليات نقل وتوزيع الشبكة، وبلغ إجمالي فقد الكهرباء في عام ٢٠١٠م وعلى مدار ٣٩ عاماً نحو مليار و٧١٥ مليون كيلووات/ ساعة(**جامعة الدول العربية، ٢٠١٤م، ص:٣٤**).

وتزيد الخسائر بفقد الكهرباء مع زيادة الخطوط الفرعية لنقل الكهرباء وكذلك مع زيادة ربطها بخطوط النقل: KV٥٠٠، و KV٢٢٠، و KV١٣٢، و kV٦٦ (ما يعرف بخسائر الإرسال الرئيسي)، وهناك فقد أكبر مع الخطوط الأقل جهداً مثل: KV٣٣، و KV١١(ما يعرف بفقدان الإرسال الفرعي)، بل يزيد الفقد مع خطوط التوزيع مثل: KV١١، و٠,٤١٥ KV(ما يُعرف بخسائر التوزيع)؛ وذلك

نتيجة سرقات التيار الكهربائي، والأخطاء في قراءة العدادات، كما أن هناك العديد من المشكلات في شبكات الربط الكهربائي ذات جهد (KV٢٢٠) بالسودان تتعلق بتهالكها، ومن ثم عدم قدرتها على إمداد الكهرباء المولدة لاحتياجات الاستهلاك، كما أن هناك الكثير من مشروعات خطوط النقل الكهربائية غير المكتملة، فضلاً عن الأحمال الزائدة عن الإمكانات الفولتية المنخفضة، ويجب النظر إلى حقيقة أن معظم المحطات الحالية بالسودان تقع بعيداً عن مراكز الأحمال مع شبكة طويلة المسافة ومتجزئة، كل ذلك أدى إلى ضعف كفاءة نقل الكهرباء(**Eseosa, Emmanuel, 2012, 94**).

وقد أشارت الدراسات أن فقد الكهرباء مع النقل يتراوح بين ١٠– ١٥% من الطاقة المنتجة، ويجب ألا تزيد نسبة الفقد عن ١٥% في الشبكة (الكهرباء المرسلة)(**مرعي، ٢٠٠٠م، ٤٦**). وفي حال خفض الجهد وضعف مراكز التقوية تصل الطاقة المفقودة إلى كميات تتراوح في بعض الأحيان بين ٢٠ – ٣٠%(**Eseosa, Emmanuel, 2012, 94, 95**).

كما يجب الاشارة الى ان معظم أسلاك شبكة الربط الكهربائي في السودان من نوع شبكة الربط الهوائية من مادة الالومنيوم الفاقدة للطاقة مع النقل.

وترجع خسائر ضعف كفاءة النقل والإمداد في المنظومة الكهربائية إلى الفرق بين مقدار الطاقة المولدة بالمحطات والطاقة المستلمة من قبل المستهلكين، وهذا ما يشير إليه جدول (١٢).

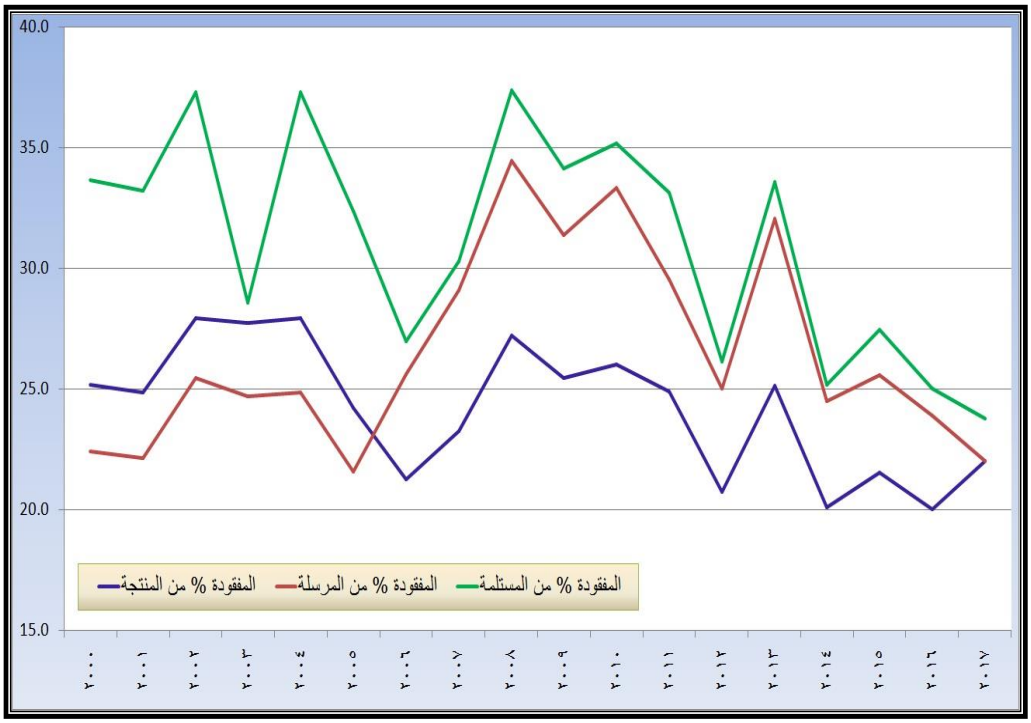
جدول (١٢) إجمالي فاقد شبكات نقل الكهرباء في السودان(ميجاوات/ الساعة) خلال الفترة (٢٠٠٠- ٢٠١٧م)

السنة	الكهرباء المنتجة	الكهرباء المرسلة	الكهرباء المستلمة	الكهرباء المفقودة (%) من		
				المنتجة	المرسلة	المستلمة
٢٠٠٠	٢,٩٨٤	٢,٣٧١	٢,٢٣٣	٢٥,٢	٢٢,٤	٣٣,٦
٢٠٠١	٣,٢٤٣	٢,٩٥٥	٢,٥٠١	٢٤,٩	٢٢,١	٣٣,٢
٢٠٠٢	٣,٤٨٢	٣,٢٧٤	٢,٦٤٩	٢٧,٩	٢٥,٤	٣٧,٣
٢٠٠٣	٣,٧٢١	٣,٣٥١	٢,٨٩٤	٢٧,٧	٢٤,٧	٢٨,٦
٢٠٠٤	٣,٨٢٤	٣,٥٩٦	٢,٩٩١	٢٧,٩	٢٤,٩	٣٧,٣
٢٠٠٥	٤,١٦٩	٣,٧٤٨	٣,٤٤٦	٢٤,٢	٢١,٦	٣٢,٤
٢٠٠٦	٤,٨٢٨	٤,٠٠٦	٣,٨٠٢	٢١,٣	٢٥,٦	٢٧,١
٢٠٠٧	٥,٣٠١	٤,٢٣٦	٤,٠٦٩	٢٣,٢	٢٩,١	٣٠,٣
٢٠٠٨	٥,٧٥٨	٤,٥٤٨	٤,١٩٢	٢٧,٢	٣٤,٤	٣٧,٤
٢٠٠٩	٦,٧٧٣	٥,٤٩٦	٥,٠٤٩	٢٥,٥	٣١,٤	٣٤,١
٢٠١٠	٧,٨٦٩	٦,١٤٣	٥,٨٢١	٢٦,١	٣٣,٣	٣٥,٢
٢٠١١	٨,٧٨١	٧,٤٠٢	٦,٥٩٦	٢٤,٩	٢٩,٥	٣٣,١
٢٠١٢	٩,٧١١	٨,٠٥٣	٧,٦٩٨	٢٠,٧	٢٥,١	٢٦,١
٢٠١٣	١٠,٢٨٧	٨,٠٦٤	٧,٧٠١	٢٥,١	٣٢,١	٣٣,٦
٢٠١٤	١٢,٨١٩	١٠,٥٢٩	١٠,٢٤٢	٢٠,١	٢٤,٥	٢٥,٢
٢٠١٥	١٤,٦٦٢	١٢,٣٥٢	١١,٥٠٣	٢١,٥	٢٥,٦	٢٧,٥
٢٠١٦	١٦,٢٦٢	١٣,٦٢١	١٣,٠٠٩	٢٠,١	٢٣,٩	٢٥,١
٢٠١٧	١٩,٨٠٨	١٧,٢٨٥	١٦,٠٠٥	٢٢,١	٢٢,١	٢٣,٨
المتوسط	٨,٠١٦	٦,٧٢٤	٦,٢٤٥	٢٤,٢	٢٦,٥	٣١,١

المصدر: (١) جدول (٣) ipdbproject/IEDIndex3.cfm/http://www.eia.gov/cfapps (٢)

إلا أن الواقع يختلف في السودان، وهذا ما يبرزه جدول (١٢)، وشكل (١١) حيث بلغت ذروة الفقد للطاقة الكهربائية في عام ٢٠٠٨م بنسبة ٣٤,٤%، و٣٧,٤% للكهرباء المرسلة والمستلمة على التوالي، في حين كان عام ٢٠٠٢م هو الأعلى في النسبة المفقودة من الكهرباء المنتجة وذلك بنسبة ٢٧,٩%، وتمثل الحد الأدنى من فقد الطاقة الكهربائية بنسبة ٢٠,١% من الكهرباء

المنتجة عامي ٢٠١٤م، ٢٠١٦م، يليها ٢١,٦% فقد من الكهرباء المرسلة عام ٢٠٠٥م، ونحو ٢٣,٨% فقد من الكهرباء المستلمة عام ٢٠١٧م.



المصدر: اعتمادا على جدول (١٢)

شكل (١١) فواقد شبكات نقل الكهرباء في السودان(%) خلال الفترة (٢٠٠٠- ٢٠١٧م)

ب-كفاءة التغطية

تتمثل كفاءة تغطيه شبكات الربط الكهربائي بالسودان في شقين وهما أولهما: كفاءة تغطية الشبكة على عدد السكان (السكان/كيلومتر)، أي كثافة شبكة توزيع الكهرباء وذلك مؤشر هام يعكس مدى كفاية الشبكة داخل المنطقة من ناحية، وكذلك تعكس مدى الخدمة التي تؤديها الشبكة من ناحية أخرى، فزيادة الكثافة تعني أن المنطقة تتمتع بخدمة جيدة، وانخفاضها يعنى أن المنطقة في حاجة إلى المزيد من خطوط الشبكة**(الجمال، ٢٠٠٦م، ص: ١٦٥)**، وثانيهما: كفاءة تغطية

الشبكة على المساحة (المساحة/ كيلووات)(*) وهذا يتضح من خلال جدولي (١٣)، (١٤).

يتضح أن كثافة توزيع شبكات الكهرباء بالسودان بلغت كما هو مبين بجدولي (١٣، و١٤)، وشكل (١٢) نحو ٨,١٤٨ نسمة يخدمهم كيلو متر طولي وذلك من إجمالي أطوال لكل الخطوط قدرة ٥,٠٠٥ كم، وعلى مستوى الولايات التي يوجد بها شبكة الكهرباء بالفعل نحو ٥,٨٩٣ نسمة لكل كم طولي، أما على مستوى الخطوط يتبين أن خدمات خطوط جهد ١١٠، و٢٢٠، و٥٠٠ كيلو فولت الأقل خدمة على مستوى سكان الخرطوم بنحو ٥٩,٠٤٤ نسمة، و٦٢,٧٠٤ نسمة، و٤٠,٥٤٦ نسمة يخدمهم واحد كيلو متر (كم) طولي على التوالي وبمتوسط ١٧,٣٧٧ نسمة لكل كم طولي؛ ويرجع ذلك لعدد سكان العاصمة البالغ ٧,٧ مليون نسمة، أما الولاية التي حققت الخدمة الأعلى فكانت القضارف بالنسبة لخطوط الجهد الأول بعدد سكان بلغ ٥,٣٢٨ لكل كم طولي؛ وهذا لكون أن الولاية عدد سكانها لم يتعد قليلاً ٢,١ مليون نسمة، وكانت ولاية الشمالية هي الأعلى خدمة للسكان لخطي الجهد الأخريين حيث بلغت ٣,٠١٢ نسمة، ٣,٠٧٢ نسمة لكل كم طولي على الترتيب؛ وذلك لكونها الولاية الأقل في عدد السكان (حوالي ٩١٤ ألف نسمة)، أما خطوط جهد ٦٦ كيلو فولت فكانت الأكثر خدمة بولاية كسلا والأقل خدمة بولاية البحر الأحمر وذلك بتغطية بلغت ١٥,٥٥٤ نسمة، و١٩,٤٦٠ نسمة لكل كم طولي على الترتيب؛ ويرجع ذلك لانخفاض أطوال خطوط التغطية مقارنة بعدد السكان في الولايتين على الترتيب.

* قام الباحث بقياس أطوال شبكات الكهرباء بواسطة برنامج الـ GIS وكذلك حساب مساحات الولايات بالسودان من خلال عمل Clip لكل ولاية بواسطة برنامج الـ GIS.

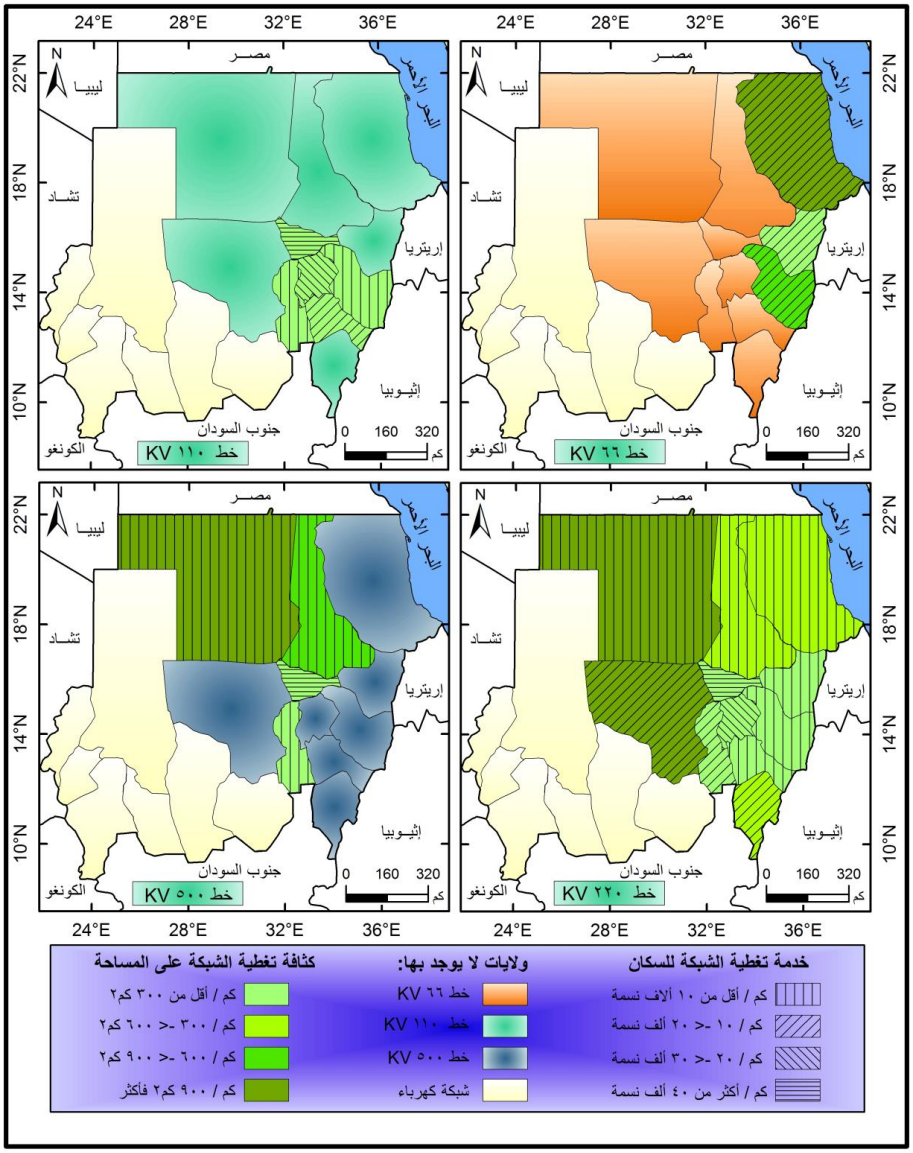
جدول (١٣) خدمة خطوط توزيع الكهرباء القائمة ٦٦، و١١، و٢٢٠، ٥٠٠ KV لسكان الولايات السودانية عام ٢٠١٧م

الولايات	السكان (ألف نسمة)(١)	٦٦ KV		١١٠ KV		٢٢٠ KV		٥٠٠ KV		المتوسط	
		كم	ن/كم	كم	ن/كم	كم	ن/كم	كم	ن/كم	الإجمالي (كم)	المتوسط (ن/كم)
الشمالية	٩١٣,٥	-	-	-	-	٣٠٣,٣	٣,٠١٢	٢٩٧,٤	٣,٠٧٢	٦٠٠,٧	١,٥٢١
نهر النيل	١,٤٧٢,٣	-	-	-	-	٢٦٧,٤	٥,٥٠٦	١٩٩,٣	٧,٣٨٧	٤٦٦,٧	٣,١٥٥
البحر الأحمر	١,٤٤٧,٨	٧٤,٤	١٩,٤٦٠	-	-	٣٥٧,٦	٤,٠٤٩	-	-	٤٣٢	٣,٣٥١
كسلا	٢,٤٣٨,٨	١٥٦,٨	١٥,٥٥٤	-	-	٢٧٨,٣	٨,٧٦٣	-	-	٤٣٥,١	٥,٦٠٥
القضارف	٢,١٠٨,٥	١٢٢,١	١٧,٢٦٨	٣٩٥,٧	٥,٣٢٨	٣١٨,٧	٦,٦١٦	-	-	٨٣٦,٥	٢,٥٢١
الخرطوم	٧,٦٨٧,٥	-	-	١٣٠,٢	٥٩,٠٤٤	١٢٢,٦	٦٢,٧٠٤	١٨٩,٦	٤٠,٥٤٦	٤٤٢,٤	١٧,٣٧٧
الجزيرة	٤,٩٢٦,٦	-	-	٢٠٩,٦	٢٣,٥٠٥	١٧٣,٣	٢٨,٤٢٨	-	-	٣٨٢,٩	١٢,٨٦٦
النيل الأبيض	٢,٤١٠,٣	-	-	٢٧٣,٧	٨,٨٠٦	٢١٤,٥	١١,٢٣٧	٢٧٨,٥	٨,٦٥٤	٧٦٦,٧	٣,١٤٤
سنار	١,٨٤٧,٥	-	-	١٥٧,٥	١١,٧٣٠	٢٠٤,٢	٩,٠٤٧	-	-	٣٦١,٧	٥,١٠٨
النيل الأزرق	١,٠٨٠,٧	-	-	-	-	١٠٤,٩	١٠,٣٠٣	-	-	١٠٤,٩	١٠,٣٠٣
شمال كردفان	٣,١٦٠,٧	-	-	-	-	١٧٥,٥	١٨,٠٠٩	-	-	١٧٥,٥	١٨,٠٠٩
الإجمالي	٤٠,٧٨٢,٧	٣٥٣,٣	٨٣,٤٨٢	١,١٦٦,٧	٢٥,٢٨٠	٢,٥٢٠,٣	١١,٧٠٣	٩٦٤,٨	٣٠,٥٧٠	٥,٠٠٥	٥,٨٩٣

جدول (١٤) كثافة خطوط توزيع الكهرباء القائمة ٦٦، و١١، و٢٢٠، ٥٠٠ KV على مساحة ولايات السودان(٢٠١٧م)

الولايات	المساحة (كم٢) (١)	٦٦ KV		١١٠ KV		٢٢٠ KV		٥٠٠ KV		المتوسط	
		كم	كم/كم٢	كم	كم/كم٢	كم	كم/كم٢	كم	كم/كم٢	الإجمالي (كم)	المتوسط (كم/كم٢)
الشمالية	٣٤٨,٦٩٧	-	-	-	-	٣٠٣,٣	١,١٥٠	٢٩٧,٤	١,١٧٢	٦٠٠,٧	٥٨٠,٥
نهر النيل	١٢٢,٠٠٠	-	-	-	-	٢٦٧,٤	٤٥٦,٢	١٩٩,٣	٦١٢,١	٤٦٦,٧	٢٦١,٤
البحر الأحمر	٢١٢,٨٠٠	٧٤,٤	٢,٨٦٠,٢	-	-	٣٥٧,٦	٥٩٥,١	-	-	٤٣٢	٤٩٢,٦
كسلا	٤٢,٢٨٢	١٥٦,٨	٢٦٩,٧	-	-	٢٧٨,٣	١٥١,٩	-	-	٤٣٥,١	٩٧,٢
القضارف	٧٥,٢٦٣	١٢٢,١	٦١٦,٤	٣٩٥,٧	١٩٠,٢	٣١٨,٧	٢٣٦,٢	-	-	٨٣٦,٥	٩٠
الخرطوم	٢٥,١٢٢	-	-	١٣٠,٢	١٩٣	١٢٢,٦	٢٠٤,٩	١٨٩,٦	١٣٢,٥	٤٤٢,٤	٥٦,٨
الجزيرة	٢٥,٥٤٣	-	-	٢٠٩,٦	١٢١,٩	١٧٣,٣	١٤٧,٤	-	-	٣٨٢,٩	٦٦,٧
النيل الأبيض	٣٩,٧٠١	-	-	٢٧٣,٧	١٤٥,١	٢١٤,٥	١٨٥,١	٢٧٨,٥	١٤٢,٦	٧٦٦,٧	٥١,٨
سنار	٤٠,٦٨٠	-	-	١٥٧,٥	٢٥,٨	٢٠٤,٢	١٩,٩	-	-	٣٦١,٧	١١,٢
النيل الأزرق	٤٥,٨٤٤	-	-	-	-	١٠٤,٩	٤٣٧	-	-	١٠٤,٩	٤٣٧
شمال كردفان	١٩٠,٨٤٠	-	-	-	-	١٧٥,٥	١,٠٨٧	-	-	١٧٥,٥	١,٠٨٧,٤
الإجمالي	١,١٣٢,١٦٠	٣٥٣,٣		١,١٦٦,٧	٩٧٠,٤	٢,٥٢٠,٣	٤٤٩,٢	٩٦٤,٨	١,١٧٣	٥,٠٠٥	٢٦٦,٢

المصدر: (١) African Statistical Yearbook, 2017. (٢) من حساب الباحث على برنامج GIS



المصدر: اعتمادا على جدول (١٣)، جدول (١٤).

شكل (١٢) خدمة وكثافة خطوط توزيع الكهرباء القائمة ٦٦، و١١، و٢٢٠، ٥٠٠ KV بالنسبة للسكان والمساحة للولايات السودانية عام ٢٠١٧م

أما عن خدمة خطوط شبكة الكهرباء على المساحة فيتبين أن الإمداد الأكثر كثافة لخطوط الجهد الأربعة الواردة في جدول (١٤) تمثلت في ولايات كسلا، وسنار، والجزيرة، والخرطوم بتغطية بلغت واحد كيلو متر طولي لكل ٢٧٠كم٢، و٢٦كم٢، و١٤٧كم٢، و١٣٣ كم٢ على

الترتيب؛ وذلك يرجع لكون تلك الولايات هي الأقل في المساحة وذلك بمساحات بلغت ٤٢,٣ ألف كم٢، و٤,١ ألف كم٢، و٢٥,٥ ألف كم٢، ٢٥,١ ألف كم٢ على الترتيب، أما الولايات الأقل كثافة في تغطية الشبكة بالنسبة للمساحة فتمثلت على مستوى نفس الخطوط الأربعة الواردة بنفس الجدول في ولايات البحر الأحمر، والخرطوم، والشمالية، وذلك بتغطية بلغت ٢,٨٦٠كم٢، و١٩٣كم٢، و١,١٥٠ كم٢، و١,١٧٢ كم٢ على الترتيب؛ وذلك يرجع لكبر مساحات تلك الولايات التي بلغت ٢١٢,٨ ألف كم٢، و٢٥,١ ألف كم٢، و٣٤٨,٧ ألف كم٢ على الترتيب، مع الوضع في الاعتبار إن ولاية الخرطوم هي الأقل حظاً في خطوط جهد ١١٠ كيلو فولت بإجمالي أطوال بلغت ١٣٠ كم فقط مما جعل نصيبها منخفضاً في تغطية هذا النوع من الشبكات.

- رابعاً: النتائج المترتبة على ضعف كفاءة الكهرباء بالسودان

تتمثل النتائج المترتبة على ضعف كفاءة الكهرباء بالسودان في عده مشكلات أهمها: الانقطاع المتكرر للكهرباء، وانخفاض درجة الثقة في التيار الكهربائي، وتلوث الهواء بمحطات توليد الكهرباء الحرارية، وفيما يلي استعراض تلك النقاط على النحو التالي:

١- الانقطاع المتكرر للطاقة الكهربائية

يُعاني السودان من الانقطاع(*) المتكرر للكهرباء، مما يترتب عليه القلق المستمر للمستهلكين، نظراً للانقطاع غير المنتظم للكهرباء. وحاولت الحكومة خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٠٥م وضع حد لهذه المشكلة من خلال زيادة خطوط النقل الفرعية ذات جهد KV٣٣/١٣٢، إلا أن ذلك كان دون جدوى للتزايد المستمر لأعداد السكان **(Gujba, et al, 2011, 978)**؛ ويرجع الانقطاع المتكرر للكهرباء إلى عوامل بيئية كما هو الحال المناطق المعرضة للسيول في ولاية البحر الأحمر، أو لتوزيع خطوط النقل على نطاقات واسعة دون توفر محطات كافية لرفع الأحمال، كما هو الحال في المسافة بين عطبرة وبور سودان، وبين سنار والخرطوم، أو نتيجة لتشابك الخطوط بفعل الرياح والعواصف المطيرة، كما هو الحال في ولايتي الشمالية ونهر النيل، أو حوادث السيارات، كما أن هناك انقطاع مخطط للكهرباء بصورة مسبقة لأغراض الصيانة والإصلاح، أو لإعادة تركيب المعدات الجديدة ليتم تثبيتها ووضعها في الخدمة، أو انقطاع قد يكون لأخطاء غير

* هناك نوعان من انقطاع التيار الكهربائي: الانقطاع الدائم(الانقطاع الطويل) وذلك لدقيقة واحدة أو أكثر، وذلك عادة عند حدوث ظروف طبيعية على طول نظم التوزيع الكهربائية، مثل العواصف والبرق، وعندما ينقطع التيار الكهربائي، تقوم الشركات بالاستجابة لعمل الإصلاحات لهذا الانقطاع، والانقطاع المؤقت أو اللحظي (الانقطاع القصير) وذلك لأقل من ثانية وعادة ما يكون سببه حدوث ماس كهربائي من الطيور، أو تلامس الكابلات الهوائية غير المعزولة مع بعضها البعض، أو انخفاض الجهد(Sarajcev, et al, 2012, P: 532).

مقصودة في نظام إمدادات الكهرباء، مثل: القطع في الكابلات الأرضية، أو انقطاع الطوارئ نتيجة لارتفاع درجات الحرارة وخطورة تأثير ذلك على المحولات كما هو الحال في ذروة الصيف في الخرطوم لكونها جزيرة حرارية واضحة لتكدسها بالسكان ومن ثم تعدد الأنشطة البشرية، أو نتيجة لارتفاع الأحمال، أو الانقطاع لسوء توزيع أكشاك الكهرباء أو لتلوث العازلات والوميض الكهربائي.

وتتحدد أحجام الكابلات الكهربائية للحمل طبقاً لاستخدامها في المنشآت، وعلى الرغم من ذلك، استخدمت السودان كابلات بأقطار تتراوح بين ٢-٦ مم في بعض الحالات لتزويد مباني تعمل بتسعين أمبير؛ ولذا كانت الكابلات تتعرض للتسخين، أو للحرق في حالة زيادة الحمولة مع زيادة كثافات السكان، كما استخدمت الحكومة كابلات رديئة الصنع ورخيصة الثمن، فكانت أقل قدرة على تحمل زيادة الطلب، مما أدى إلي انقطاع الكهرباء(Sarajcev,et al, 2012, P: 535).

ويؤدي انقطاع الكهرباء إلى الكثير من الآثار السلبية لا سيما على القطاعات الصناعية خاصة في جنوب الخرطوم وبور سودان، وكذلك القطاعات التجارية، والمنزلية، ونتيجة لذلك لجأ عدد ضخم من تلك المؤسسات إلى تشغيل مولدات الكهرباء الخاصة بها، مما أدى إلى ارتفاع تكلفة إنتاج الكهرباء التي تتحملها تلك المؤسسات والاقتصاد السوداني على حد سواء، كما أن هناك علاقة بين معدلات الاستثمار وعدد أيام الإنتاج المفقودة؛ بسبب انقطاع التيار الكهربائي، فكلما زادت عدد أيام انقطاع التيار الكهربائي انخفضت معدلات الاستثمار، وينقطع التيار الكهربائي بصورة متزايدة في السودان كما هو مبين بجدول (١٥).

جدول (١٥) المتوسط اليومي لساعات انقطاع الكهرباء على مستوى أقاليم السودان خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٥م

الأقاليم	٢٠٠٠-٢٠٠٥	٢٠٠٦-٢٠١٠	٢٠١١-٢٠١٥	متوسط الإقليم
الشمال	١٨	١٥	١٣	١٥,٣
الشرق	١٧	١٥	١٢	١٤,٧
الغرب	١٤	١١	٨	١١,٠
الوسط	١١	١٠	٨	٩,٧
متوسط الأقاليم	١٥,٠	١٢,٨	١٠,٣	١٢,٧

المصدر: (١) المقابلة الشخصية مع مسئول بالشركة الوطنية للكهرباء، الزيارة الميدانية مارس ٢٠١٢م.
(٢) وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٦م، ص ص: ١٥٥، ١٦٧.

يُلاحظ من جدول (١٥)، وشكل (١٣) أن انخفاض متوسط عدد ساعات انقطاع التيار الكهربائي على مستوى السودان بلغ ١٥ ساعة خلال الأعوام ٢٠٠٠-٢٠١٥م، ومن جانب آخر يُعد إقليم الشمال هو الأكثر في انقطاع الكهرباء بنحو ١٥,٣ ساعة كمتوسط للفترات الواردة بالجدول، حيث وصل أقصى عدد لساعات انقطاع التيار بهذا الإقليم إلى ١٨ ساعة خلال الفترة

(٢٠٠٠-٢٠٠٥)، وأقل الأقاليم انقطاعاً هو إقليم الوسط بمتوسط بلغ ٩,٧ ساعة، محققاً بذلك أقل عدد لساعات الانقطاع حيث بلغت ٨ ساعات خلال الفترة (٢٠١١-٢٠١٥).

المصدر: اعتمادا على جدول (١٥).

شكل (١٣) المتوسط اليومي لساعات انقطاع الكهرباء على مستوى أقاليم السودان خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٥م

ويُعد شهري يوليو وأغسطس من أكثر شهور السنة من حيث عدد الأعطال؛ ويعزى ذلك إلى العواصف الرعدية والأمطار وارتفاع درجات الحرارة، فقد تم رصد ٦٥ عطل في هذا الإقليم منذ عام ١٩٩٠م وحتى عام ٢٠٠٥م، مما ترتب عليه إنشاء محطتي قري، والشهيد لإنتاج الكهرباء وربطها بكابلات أرضية مع الشبكة المحلية منذ عام ٢٠٠٨م. ويترتب على انقطاع الكهرباء مشكلات مثل التخلف عن مواعيد العمل، وسرقات المنازل، وتلف الأجهزة الكهربائية والسلع **(جامعة الدول العربية، ٢٠١٥م، ص: ٥٥)**.

وتشهد ولاية الخرطوم ومدن الولايات المجاورة، جملة انقطاع للكهرباء وصلت إلى ثماني ساعات في اليوم، ظلت مستمرة طوال فصل الشتاء الذي يستقر فيه الإمداد عادة، بعكس فصل الصيف. وذلك لضعف إمداد الكهرباء، وانخفاض إنتاجها من سدي مروي والروصيرص إلى ٩٥٠، و١٢٠ ميجاوات على الترتيب، بدلاً عن ١١٠٠، و٢٨٠ ميجاوات على التوالي، في فصلي الخريف والصيف، وقد ترتب على ذلك انخفاض ساعات العمل في المصانع ومن ثم انخفاض الإنتاج.

ويُعد اللجوء إلى استخدام مولدات الكهرباء بالمصانع مكلفاً بصورة كبيرة، حيث يؤدى انقطاع التيار الكهربائي إلى رفع تكلفة المنتج في الوقت الذي تنخفض فيه تكلفة الإنتاج بمصانع أخرى لا تنقطع لديها الكهرباء وطرحها بأسعار تنافسية. ناهيك عن إفساد الأطعمة لارتفاع درجة الحرارة في شهور الصيف وزيادة معاناة المرضى والأطفال وكبار السن طول العام، كما يؤثر انقطاع الكهرباء على النشاط التجاري وقد اتضح ذلك في نيالا التي يتأخر بها تسويق محصولي الفول السوداني والصمغ لانقطاع الكهرباء وبالتالي تأخير تجهيز المنتج، كما تباين الاعتماد على المولدات والشبكة في استهلاك الكهرباء في بعض مناطق ومدن السودان حتى عام ٢٠١٤م، فكان الاعتماد على مولدات الديزل في كل من مناطق البحر الأحمر ونيالا والجزيرة والخرطوم ونهر النيل وشمال كردفان بنسب ٩٧%، و٧٨%، و٦٠%، و٥٩%، و٤٢%، و٣٧% على الترتيب، في حين كان الاعتماد على الشبكة في نفس المناطق بالترتيب على النحو التالي: ٦٢%، و٧٦%، و٣١%، ٢٩%، ٣٠%، و٣٩%**(سليمان، ٢٠١٦م، ص:٩٥)**.

٢- انخفاض درجة الثقة في التيار الكهربائي

تُعد درجة الثقة في التيار الكهربائي(*) انعكاساً لساعات تشغيل الكهرباء، ويتم حساب درجة الثقة في التيار الكهربائي من خلال التعرف على عدد أيام انقطاع التيار(**) مقسومة على عدد أيام السنة مطروحة من واحد صحيح. وبلغ متوسط انقطاع الكهرباء في السودان خلال تسعينيات القرن الماضي نحو ١٤٦يوماً في السنة، وبمتوسط يومي لانقطاع الكهرباء بلغ ١٦ ساعة، ومع تزايد عدد السكان زاد الطلب على الكهرباء، ومن ثم زاد الضغط على الشبكة، مما أدى إلى انقطاع الكهرباء ومن ثَمَ انخفاض درجة الثقة في التيار الكهربائي، وهذا ما يوضحه جدول (١٦).

---

* **درجة الثقة في التيار الكهربائي = ١- ----------**
عدد أيام انقطاع التيار الكهربائي
٣٦٥ (عدد أيام السنة)

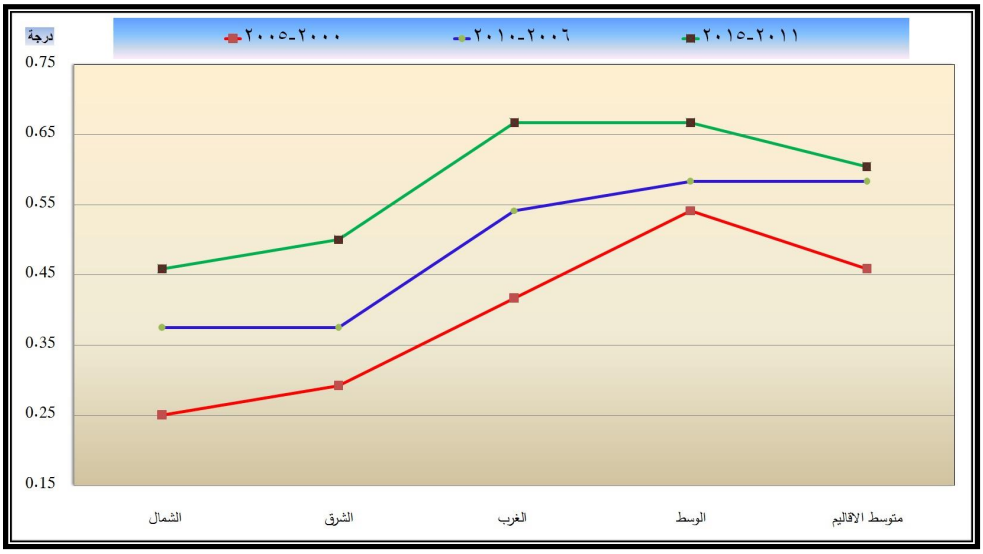
– كلما اقتربت القيم من واحد صحيح زادت درجة الثقة في التيار الكهربائي (الديب، ١٩٩٣م، ص: ٣٥٩)

(**) قام الباحث بتحويل ساعات الانقطاع اليومي إلى عدد من أيام السنة من خلال ضرب ساعات الانقطاع في ٣٦٥ يوم، ثم قِسْمَتها على ٢٤ ساعة ليتم التعرف على عدد أيام انقطاع الكهرباء حتى يتم تطبيق المعادلة.

جدول (١٦) متوسط درجة الثقة في التيار الكهربائي بأقاليم السودان خلال الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٥م

الإقليم	٢٠٠٠-٢٠٠٥		٢٠٠٦-٢٠١٠		٢٠١١-٢٠١٥		متوسط الإقليم	
	أيام الانقطاع	درجة الثقة	أيام الانقطاع	درجة الثقة	أيام الانقطاع	درجة الثقة	أيام الانقطاع	درجة الثقة
الشمال	٢٧٣،٨	٠،٢٥	٢٢٨،١	٠،٣٨	١٩٧،٧	٠،٤٦	٢٣٢،٧	٠،٣٦
الشرق	٢٥٨،٥	٠،٢٩	٢٢٨،١	٠،٣٨	١٨٢،٥	٠،٥٠	٢٢٣،٦	٠،٣٩
الغرب	٢١٢،٩	٠،٤٢	١٦٧،٣	٠،٥٤	١٢١،٧	٠،٦٧	١٦٧،٣	٠،٥٤
الوسط	١٦٧،٣	٠،٥٤	١٥٢،١	٠،٥٨	١٢١،٧	٠،٦٧	١٤٧،٥	٠،٦٠
متوسط الدولة	٢٢٨،٣	٠،٣٨	١٩٣،٩	٠،٤٧	١٥٥،٩	٠،٥٧	١٩٢،٨	٠،٤٧

المصدر: اعتماداً على: (١) جدول(١٥) (٢) معادلة درجة الثقة في التيار الكهربائي.



المصدر: اعتماداً على جدول (١٦)

شكل (١٤) متوسط درجة الثقة في التيار الكهربائي بأقاليم السودان خلال الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٥م

يتبين من جدول (١٦)، وشكل (١٤) انخفاض المتوسط العام لدرجة الثقة في التيار الكهربائي، وذلك بثقة متوسطة بمقدار ٠,٤٧ درجة خلال الفترة من ٢٠٠٠م إلى ٢٠١٥م، ويُعد إقليم الوسط ذو درجة ثقة عالية فهو الأعلى في درجة الثقة بمتوسط ٠,٦٠ درجة، في حين يأتي إقليم الشمال في الترتيب الأخير بدرجة ثقة ضعيفة بمتوسط قدرة ٠,٣٦ درجة، كما يلاحظ تناقص متوسط أيام انقطاع الكهرباء من فترة لأخرى مع التطور الزمني خلال الفترات الواردة في الجدول، وكان إقليم الشمال هو أعلى الأقاليم انقطاعاً للكهرباء في الفترات (٢٠٠٠-٢٠٠٥م)، (٢٠٠٦-٢٠١٠م)، (٢٠١١-٢٠١٥م) بعدد أيام بلغت ٢٧٤، و٢٢٨، و١٩٨ يوم على الترتيب؛ للقصور في كفاءة محطات التوليد ولتأخر دخول سد مروي في الخدمة حتى عام ٢٠١١م ولضعف شبكات نقل الكهرباء لطول مسافة الإمداد، وكان إقليم الوسط هو الأقل في انقطاع الكهرباء في

نفس الفترات بعدد ١٦٧، و١٥٢، و١٢٢ يوم على التوالي؛ وذلك لكثرة أعداد المحطات المنتجة للكهرباء في وسط السودان ولا سيما في العاصمة المثلثة ومحيطها الإقليمي.

٣- تلوث الهواء بالمحطات الحرارية لتوليد الكهرباء

يؤدي ضعف الكفاءة التشغيلية أو الإنتاجية وكذلك تأخر الصيانة الدورية للمحطات الحرارية إلى انبعاث الكثير من الأدخنة الضارة عن المعدل المعتاد مما يترتب عليه تلوث الهواء، فتلك المحطات تُعد أحد مصادر تلوث البيئة بسبب الغازات الصادرة منها، فتتمثل ملوثات الهواء الناتجة عن المحطات الحرارية في مركبات: ثاني أكسيد الكبريت، وأكسيد الكربون، وأكسيد النيتروجين، ومجموعة أخرى من المركبات**(الديب، ١٩٩٣م، ص ص: ٣٩١-٤١١)**، كما هو وراد بجدول (١٧).

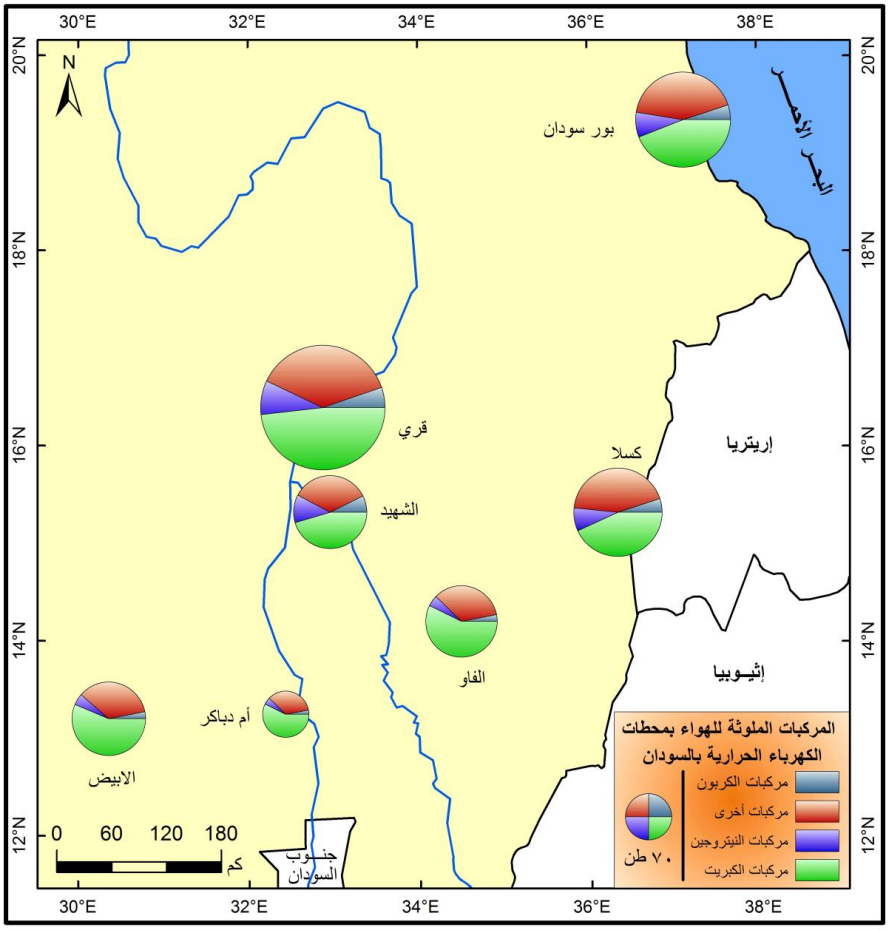
جدول (١٧) التوزيع الجغرافي للمركبات الملوثة للهواء بمحطات الكهرباء الحرارية في السودان بالطن عام ٢٠١٥م

المحطات	الولاية	مركبات الكربون	مركبات النيتروجين	مركبات ثاني أكسيد الكبريت	مركبات أخرى	المجموع
الشهيد١	الخرطوم	١،٩	٣،٣	٣٧،٦	٢٢،٨	٦٥،٦
الشهيد٢	الخرطوم	٨،٧	١٤،٥	٠،٢	١٠،٨	٣٤،٢
الشهيد٣	الخرطوم	٢،٤	٤،١	٤٢،٧	٢٨،٣	٧٧،٥
قري١	الخرطوم	١،٥	٢،٥	٢٨،٢	١٧،١	٤٩،٣
قري٢	الخرطوم	٠،٩	١،٦	١٨،٧	١١،٤	٣٢،٦
قري٤	الخرطوم	٢٤،٦	٤١،١	٢٠١،٦	١٦٥،٧	٣٩١،٩
الفاو	القضارف	٥،١	٨،٥	٩٧،٣	٥٨،٩	١٦٩،٨
أم دباكر	النيل الأبيض	٢،١	٣،٥	٤٠،٦	٢٤،٦	٧٠،٨
الأبيض	شمال كردفان	٥،٥	٩،٢	١٠١،٦	٦٣،٩	١٨٠،٢
بورسودان	البحر الأحمر	١٥،٢	٢٥،٤	١٣١،٧	١٢٦،٧	٢٩٩،٠
كسلا	كسلا	١٣،١	٢١،٩	١١١،٩	١١٢،٦	٢٥٩،٥
الإجمالي		٨١،٠	٩٤،٥	٨١٢،١	٦٤٢،٨	١٦٣٠،٤
المتوسط		٧،٤	٨،٦	٧٣،٨	٥٨،٤	١٤٨،٢

المصدر: (١) Abdoun, 2016, P: 34 (٢) Salih, et al, 2014, P: 82

يُلاحظ من قراءة جدول (١٧)، وشكل (١٥) أن ولاية الخرطوم هي الأكثر تأثراً بالمركبات الملوثة للهواء؛ وذلك لكونها من أكثر الولايات احتواءً على محطات إنتاج كهرباء بالسودان، وذلك بعدد ست محطات حرارية، تتسبب في ملوثات قدرها ٤٠% من إجمالي المركبات الملوثة للهواء، يليها محطة بور سودان بنسبة ملوثات بلغت ١٨,٣% وعلى الرغم من حداثة إنتاج الكهرباء بتلك المحطة إلا أن اعتمادها على مشتقات البترول زاد من ملوثات تلك المحطة للجو، حالها كحال محطتي الأبيض وكسلا، أما أقل المحطات تلويثاً للهواء هي محطة قري ٢ بنسبة ٢,١% من إجمالي المركبات الناتجة؛ ويرجع ذلك إلى اعتماد المحطة على زيت الغاز وغاز البترول المسال (LPG)، مثلها مثل محطة قري ١، والشهيد ٢، أما أكثر المحطات انبعاثاً لتلك المركبات يتمثل في محطة قري ٤ التي تساهم بـ ٢٤%؛ لاعتمادها على فحم الكوك في إنتاج الكهرباء، ويترتب

على تشغيل تلك المحطات الكثير من ملوثات الهواء والأمطار الحمضية الناتجة عن انبعاث أكاسيد الكبريت، والمعادن الثقيلة، وثاني أكسيد الكربون(Abdoun, 2016, P: 34).



المصدر: اعتماداً على جدول (١٧)

شكل (١٥) التوزيع الجغرافي للمركبات الملوثة للهواء بمحطات الكهرباء الحرارية في السودان بالطن عام ٢٠١٥م

- خامساً: الإمكانات المستقبلية لرفع كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان

وضعت الهيئة القومية للكهرباء بالسودان، خطة مستقبلية لتلبية الطلب المحلي للكهرباء على كافة القطاعات المستهلكة بالدولة (السكني والتجاري والصناعي)، فتم دراسة توقعات الطلب على الكهرباء حتى عام ٢٠٣٠م كما هو موضح بجدول (١٨)، حيث بلغ الطلب على الكهرباء ٦٦٩٣ ميجاوات في عام ٢٠١٥م بنسبة قدرها ١٣١% عن عام ٢٠١٠% ومن المتوقع أن يزداد بمعدلات متناقصة بنسبة ٣٤%، و٢٥%، و٢٤% للأعوام ٢٠٢٠م، و٢٠٢٥م، و٢٠٣٠م على التوالي.

جدول (١٨) الطلب المتوقع على الطاقة الكهربائية في السودان من ٢٠١٥ إلى ٢٠٣٠م

السنة	٢٠١٥	٢٠٢٠	٢٠٢٥	٢٠٣٠	المتوسط
الطاقة الكهربائية المطلوبة(ميجاوات)	٦٦٩٣	٨٩٩٥	١١٢٠٥	١٣٨٨٦	١٠١٩٥
معدل الزيادة للفترة (%)	١٣١	٣٤	٢٥	٢٤	٥٣,٥

المصدر: Ministry of Water Resources & Electricity in Sudan, 2016

وهَدفت الدولة الوصول إلى إنتاج كهرباء يقدر بـ ٩٥,١٤٩ ميجاوات، وزيادة معدلات توصيل الكهرباء للسكان لتصل إلى ٨٠% بحلول عام ٢٠٣٠م، والاعتماد على الطاقة المتجددة لأنها طاقة نظيفة وأكثر استدامة، ومن ثم تمديد الشبكة القومية لتشمل كل السودان وهذا ما يترتب عليه تقليل الفاقد من الكهرباء في عمليات التوليد والنقل والتوزيع.

وقامت الدولة بوضع برامج لتطوير وصيانة العديد من محطات توليد الكهرباء المائية والحرارية من خلال الشراكة مع الشركات الخاصة سواء شركات محلية أو عالمية ولكن الأخيرة طالبت الحكومة بدخولها للاستثمار في هذا القطاع بنظام الـ BOT(*) لتحقيق الاستفادة للطرفين العام والخاص، إلا أن حكومة السودان رفضت هذا العرض (Joshua, 1999, 446, 448)، ووضعت الدولة برامج لرفع كفاءة الطاقة، كما هو مبين بجدول (١٩).

جدول (١٩) البرامج المخططة في مجال كفاءة وترشيد استخدام الطاقة

اسم البرنامج	القطاع	سنة البدء	مقدار الوفر المتوقع حتى عام ٢٠٣٠م
تخفيض الفقد في شبكات النقل: من ٦,٢% إلى ٣%.	نقل الكهرباء	٢٠١٣	٣٠٦٥ ج.و.س
تخفيض الفقد في شبكات التوزيع: من ١٨% إلى ١١%.	توزيع الكهرباء	٢٠١٣	٩٣٣٨ ج.و.س
خفض الاستهلاك الذاتي للوقود بمحطة قري ١ الحرارية : رفع كفاءة وحدات التوليد الحراري من خلال تغيير نظام الوقود من جازولين إلى جازولين ثقيل	توليد الكهرباء	٢٠١٣	٢٠٥١ ج.و.س
رفع جاهزية محطة جبل أولياء (زيادة توليد ٤٢ ج.و.س في العام)	توليد الكهرباء	٢٠١٤	٧٩,٠٦٢ ط.و.س
تأهيل نظام التبريد لزيادة الطاقة الإنتاجية لمحطة الروصيرص(٥,٥ ج.و.س في العام)	توليد الكهرباء	٢٠١٤	٦٨٩٣ ط.و.س
إعادة تأهيل ورفع قدرة محطة سنار: رفع قدرة المحطة إلى (١٦٥ ج.و.س في العام)	توليد الكهرباء	٢٠١٥	٢٤٨,٤٨٠ ط.و.س
كتلة حيوية (وقود حيوي): خلط الإيثانول والبنزين (بنسبة ١٠: ٩٠)	قطاع النقل	٢٠١٥	-
التوليد من الطاقة المتجددة: مشروعان لطاقة الرياح (١٢٠ م.و) و٤ مشاريع طاقة شمسية (٢٠ م.و)	توليد الكهرباء	٢٠١٦	٦٧٤,٢٧٦ط.و.س

المصدر:(١) جامعة الدول العربية، ٢٠١٥، ص ١٨٣ (٢) وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٦، ص:١٥٩.

* يقصد بنظام الـ BOT مصطلحات: البناء Build، والتملك own، ونقل الملكية Transfer(حسن، ٢٠٠٦م، ٢٥٨) أي تقوم الشركات بإنشاء المشروع وتملكه لفترة معينة ثم ينقل لصالح الدولة.

وطَورت الدولة محطة جبل الأولياء بتكلفة مليار جنيه سوداني ومبلغ ٢٦ مليون يورو من خلال شركة فاتك النمساوية، وكذلك صيانة محطة قري (١، ٢، ٤) بتكلفة بلغت ١٤٩ مليون دولار، وتوفير الوقود اللازم لتشغيلها من معمل تكرير الخرطوم(**البدوي، ٢٠١٥م، ص: ٥٥**)، كما تم صيانة محطة توليد أم دباكر البخارية بتكلفة ٤٥٧,٥ مليون دولار من خلال شركة أنجيكا الهندية، كما أن هناك مخططات غير مباشرة لتخفيض الفاقد من الكهرباء مما يترتب عليه رفع وتحسين كفاءة الشبكة من خلال خفض استهلاك القطاع السكني: استبدال مليون لمبة تنجستن بلمبات فلوريسنت في القطاع السكني، مما يساعد على وفر ١٠٠٧ ج.و.س عام ٢٠٣٠م، وخفض استهلاك الكهرباء في المباني الحكومية: تخفيض ١٥% من الاستهلاك لوفر ٧٧٤ ج.و.س.

وسوف يساعد تنفيذ تلك البرامج على رفع كفاءة الطاقة الكهربائية في السودان، وذلك من خلال إعادة تأهيل قطاع الكهرباء لزيادة الإنتاج من خلال عدة محاور تمثلت في إنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة المتجددة، وتمديد شبكات ربط الكهرباء، وإنشاء محطات جديدة لإنتاج الطاقة الكهربائية، وذلك على النحو التالي:

١- تمديد شبكات ربط الكهرباء

يُعد تمديد شبكات الكهرباء في إقليمي شمال وغرب السودان وربطها بالشبكة القائمة من أهم الحلول للتخلص من فواقد نقل وتوزيع الكهرباء إلى أقل من ٥% في عام ٢٠٣٠م، فتبلغ اطوال الشبكة التي تحت الإنشاء نحو ٤,٥١٢كم مقسمة على ثلاثة خطوط مختلفة الجهد تتمثل فى جهد ٥٠٠ KV وذلك بطول ١,٢٧٥، وخطوط جهد ٢٢٠KV وذلك بطول ٢,٤١١كم، وخطوط جهد ١١٠KV وذلك بطول ٨٢٦كم، كما تبلغ أطوال خطوط الشبكات المقترحة مستقبلاً نحو ٥,٣١٢كم، مقسمة على أربعة خطوط من الجهد وهي خط ٥٠٠KV وذلك بطول ١,٤٨٤كم، وخطوط جهد ٢٢٠KV بطول ٣,٥٩٦كم، وخطوط جهد ١١٠KV بطول ٧كم فقط، وخطوط جهد ٣٣KV بطول ٢٢٥كم(*)، مع وضع تطور عدد السكان في الاعتبار، ومن ثَمْ عدم التأثير على متوسط نصيب الفرد من استهلاك الكهرباء.

كما أن شبكات الربط الكهربائي بين مصر والسودان سيكون لها بالغ الأثر فالربط بين الأنظمة الكهربائية المتجاورة يساعد على زيادة ضمانات استمرار التغذية والوفر في تكاليف التشغيل الوفر في السعات المركبة في محطات التوليد وعدم الانقطاع المتكرر للتيار الكهربائي.

* قام الباحث بقياس أطوال شبكات الكهرباء المستقبلية والتي تحت الإنشاء بالسودان بواسطة برنامج الـ GIS.

٢- إنشاء محطات جديدة لإنتاج الطاقة الكهربائية.

وضعت الحكومة السودانية مخططاً واضحاً لإقامة العديد من المحطات المنتجة للكهرباء سواء من مصادرها المائية أو الحرارية، وهذا ما يوضحه جدولي (٢٠)، و(٢١).

جدول (٢٠) قدرات محطات التوليد المائي التي تحت الإنشاء والمقترحة بالسودان

الحالة	المحطات	الولاية	سنة التشغيل	القدرة المركبة ميجاوات	القدرة المتاحة ميجاوات
تحت الإنشاء	شيريك	نهر النيل	٢٠٢٠	٢,١٠٣	٤٢٠
	كاجبار	الشمالية	٢٠٢٤	١,٧٩٩	٣٦٠
	سبلوقة	الشمالية	٢٠٢٥	٨٦٦	٢٠٥
	الإجمالي	**-**	**-**	**٤,٧٦٨**	**٩٨٥**
مقترحة	دال (Dal)	الشمالية	٢٠٢٥	٢,١٨٥	٦٤٨
	داجش (Dagash)	نهر النيل	٢٠٢٨	١,٣٤٩	٣١٢
	موجرات (Mograt)	الشمالية	٢٠٣٠	١,٢١٤	٣١٢
	الإجمالي	**-**	**-**	**٤,٧٤٨**	**١,٢٧٢**

Source: I.E.A.World Fact book. At web Site iea.org.eg.
http://enipedia.tudelft.nl/enipedia/index.php?title=Sudan/Powerplants&oldid=203418

جدول (٢١) القدرات المركبة لمحطات التوليد الحراري المقترحة والتي تحت الإنشاء بالسودان حتى عام ٢٠٣٠م

الحالة	المحطات	الولاية	سنة التشغيل	عدد المحركات	نوع الوقود	القدرة المركبة ميجاوات
تحت الإنشاء	الفولة	جنوب كردفان	٢٠١٨	٣	الغاز المصاحب + والغاز الطبيعي	٤٠٥
	الخرطوم	الخرطوم	٢٠١٨	٢	غاز (الجازولين الثقيل)	٦٥٠
	البحر الأحمر	البحر الأحمر	مراحل متعددة	١	الفحم	٤,٠٧٩
	الفاشر	دارفور	٢٠١٩	٣	مشتقات البترول	٧,١٨٩
	نيالا	دارفور	٢٠٢٠	٣	مشتقات البترول	١,٨٧٠
	وادي حلفا	الشمالية	٢٠٢٢	٢	غاز (الجازولين الثقيل)	٤,٣٩٩
	النهود	جنوب كردفان	٢٠٢٤	٣	مشتقات البترول	٢,٢٦٥
	عطبرة	الشمالية	٢٠٢٦	٣	غاز (الجازولين الثقيل)	٣,٠٢١
	دنقلا	الشمالية	٢٠٢٦	٢	مشتقات البترول	١,٩٠٣
	أم روابة	شمال كردفان	٢٠٢٠	-	مشتقات البترول	٤٤
	الجيلي	الخرطوم	٢٠٢٠	٢	غاز (الجازولين الثقيل)	١,٧٩٩
	بروم	دارفور	٢٠٢٠	١	مشتقات البترول	٢٤٩
	الإجمالي	**-**	**-**	**٢٥**	**-**	**٣٠,٨٩٤**
مقترحة	الجيلي	الخرطوم	غير محدد	٣	غاز	١,٤٦٠
	ميناء بورسودان	البحر الأحمر	غير محدد	٣	ديزل	١,٠٤٢
	طوكر	البحر الأحمر	٢٠٢٠	-	ديزل	٢٤٩
	الإجمالي	**-**	**-**	**٦**	**-**	**٢,٧٥١**

Source: I.E.A.World Fact book. At web Site iea.org.eg.
http://enipedia.tudelft.nl/enipedia/index.php?title=Sudan/Powerplants&oldid=203418

وتُعد محطتي الخرطوم والفولة هما الأقرب للتشغيل مع نهاية عام ٢٠١٨م، فقد تم إنشاء محطة كهرباء الخرطوم بحري الحرارية المكونة من وحدتين بخاريتين بقدرة مركبة قدرها ٦٥٠ ميجاوات بتكلفة ٨,٨ مليون دولار من الحكومة السودانية، و١٦٧ مليون دولار من خلال الشركات الصينية، كما تم تنفيذ محطة الفولة في ولاية جنوب كردفان، وهي مكونة من ثلاث وحدات بطاقة ٤٠٥ ميجاوات باستخدام الغاز الطبيعي، تم تنفيذها بواسطة الشركات الصينية بتكلفة قدرها ٦٨٠ مليون دولار، كما قامت المملكة العربية السعودية بتشييد ثلاثة سدود جديدة لإنتاج الطاقة الكهرومائية، في شمال السودان وهي: كجبار والشُريك ودال(http://www.alquds.co.uk).

أما عن محطة البحر الأحمر(*)، الحرارية المقترحة فهناك عدة مراحل مستقبلية لإقامتها، فقد انتهت المرحلة الأولى منها وتم التشغيل عام ٢٠١٧م وجارى الإعداد للمراحل الأخرى حتى عام ٢٠٣٠م، كما هو مبين بجدول (٢٢).

جدول (٢٢) خطة التوليد المستقبلية لمحطة البحر الأحمر الحرارية توليد الكهرباء المستقبلية حتى عام ٢٠٣٠م

المحطات	السعة التصميمية (ميجاوات)	بداية التشغيل
البحر الأحمر – المرحلة الأولى	٦٠٠	٢٠١٧
البحر الأحمر – المرحلة الثانية	٩٠٠	٢٠١٩
البحر الأحمر – المرحلة الثالثة (أ)	٣٠٠	٢٠٢٢
البحر الأحمر – المرحلة الثالثة (ب)	٣٠٠	٢٠٢٤
البحر الأحمر – المرحلة الثالثة (ج)	٣٠٠	٢٠٢٦
البحر الأحمر – المرحلة الرابعة (أ)	٣٠٠	٢٠٢٧
البحر الأحمر – المرحلة الرابعة (ب)	٣٠٠	٢٠٢٩
البحر الأحمر – المرحلة الرابعة (ج)	٣٠٠	٢٠٣٠
إجمالي السعات المضافة		-

المصدر: (1)Ali, et al, 2016, P:55 (2)Naeim Farouk, 2012, P: 96

وهناك عوامل لتوطن محطات التوليد مثل إمداد الوقود، وتكلفة نقله ويقصد هنا مدى القرب أو البعد عن مصادر إمداد الطاقة ومصدر المياه سواء في عمليات التبريد أم توليد البخار في المحطات الحرارية أم مياه الأنهار بالنسبة للمحطات المائية، وكذلك المساحة والعمر الافتراضي، وهذا يتمثل في احتياج المحطات

* تم تنفيذ ٦ محطات بطاقة إنتاجية ٩,١ ميجاوات وإنارة ٢٥٠٠ عمود بالشوارع، مقسمة إلى: (٢٠٠٠ عمود بمدينة بورسودان، و٥٠٠ عمود بالمحليات، كما تم تشييد محطة كهرباء سنكات وجبيت، ومحطة كهرباء سواكن، ومحطة كهرباء بورسودان، ومحطة كهرباء هيا، ومحطة كهرباء أوسيف(Naeim, 2012, P: 95).

لمساحات واسعة رخيصة الثمن من أجل التوسع المستقبلي، ولذا يفضل أن توضع محطات التوليد الحراري في مناطق واسعة قد يصل نصف قطرها إلي ١٠ كم(*)**(Ali, et al, 2016, P:58).**

كما وضعت الدولة خطه لمستقبلية للمدن التي تحتاج إلى إقامة محطات كهربائية في المستقبل على المدى البعيد مع إيلاء أهمية خاصة لكهرباء الريف وهذا ما يبرزه جدول (٢٣).

جدول (٢٣) الإنتاج المتوقع للمحطات الحرارية لتوليد الكهرباء في خطة السودان المستقبلية

اسم المحطة	الإنتاج ميجاوات	اسم المحطة	الإنتاج ميجاوات
شمال الخرطوم	٦٩٤	الدادين	٤٤
كيلو إكس ديت Kilo-x Dit	٣٦١	وسط الخرطوم	٥٤٦
ثارجاث	١٧٨	تنداليتي	٢٤٩
حلة كوكو	٤٥	زالنجي	٢٤٩
الخرطوم بحري	٤٣	الدلنج	٢٤٩
الجبلين	١٥	أبري	٢٤٩
بالوكي	١٤	أبو حمد	٢٤٩
كريمة	١٤	الجنيد	٢٦
نسيج السودان	٩	كنانة	١٣٤
الجيمينا	٥	المجموع	

المصدر:

(1)Ali, et al, 2016, P:55

(2)http://enipedia.tudelft.nl/enipedia/index.php?title=Sudan/Powerplants&oldid=203418

(٣) البدوي، ٢٠١٥م، ص: ٦٥.

كما اهتمت الدولة بمشاريع كهربة الريف وتقليل الأعطال للحد من فواقد الخطوط منخفضة الجهد، وكذلك زيادة قدرات إنتاج الكهرباء خارج الشبكة القومية التوليد بمدن متفرقة بمختلف ولايات السودان، شملت كل من الفاشر، ونيالا، والجنينة بإقليم دارفور، والنهود، وكادوقلي والضعين باقليم كردفان، وتم ربط مدن كسلا، وبورسودان، وكريمة، والدبة، ودنقلا، والقضارف، والأبيض، وأم روابة بالشبكة القومية **(مؤتمر الطاقة العربي العاشر، ٢٠١٤م، ص ص:١٦،١٥،١٤).**

٣- إنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة المتجددة.

دفع الطلب المتزايد على الكهرباء الدولة نحو تطوير مصادر الطاقة المتجددة لتصل نسبة مساهمتها المتوقعة من التوليد الكهربائي في عام ٢٠٣٠م إلى ٢٠%(مؤتمر الطاقة العربي، ٢٠١٤)، وتتوفر بالسودان إمكانات لإنتاج الكهرباء من المصادر المتجددة، وهذا ما يشير إليه جدول (٢٤).

* تحتاج المحطة التي قدرتها ٢٥ ميجاوات إلي (٨،٠٠٠ م٢) أي مساحة ٢ فدان، تحتاج ذات القدرة ١٠٠ ميجاوات إلى ٢٩ ألف م٢(٩،٦ فدان)، أما ذات القدرة الاسمية ١،٣٢٠ ميجاوات فتحتاج إلى ١٠٠ فدان، ويكون عمرها الافتراضي ٣٠ عاماً(مصيلحي، ٢٠٠٧م، ١٥٩).

جدول (٢٤) المشاريع المخططة لإنتاج الكهرباء من الطاقة المتجددة

نوع المشروع	موقع المشروع	قدرة مركبة (ميجاوات)	الطاقة المتوقع إنتاجها سنوياً (ميجاوات/ساعة)
طاقة الرياح	مدينة دنقلة	١٠٠	٢٧١,٥٦٠
طاقة الرياح	نيالا- دارفور	٢٠	٧١,٨٣٢
طاقة الرياح	طوكر-البحر الأحمر	١٨٠	٤٧٣,٠٠٠
الطاقة الشمسية	نيالا- دارفور	٥	٨,٧٥٥
الطاقة الشمسية	الفاشر- دارفور	٣	٥,٢٥٠
الطاقة الشمسية	الجنينة- دارفور	٢	٣,٥٠٠
الطاقة الشمسية	الباقر- جنوب الخرطوم	١٠	١٧,٥٠٠
الطاقة الشمسية	الشمالية - CSP	٥٠	-
الإجمالي	-	٣٧٠	٨٥١,٣٩٧

المصدر:(١) جامعة الدول العربية، ٢٠١٥م، ص ١٧٠

(2) Salih, et al, 2014, P: 80. (3) Adaramola, Oyewola, 2011, P: 85.

ويتبين من قراءة جدول (٢٤) إن السودان يمتلك العديد من مشروعات إنتاج الطاقة المتجددة في العديد من المواقع بالدولة وخاصة تلك المواقع التي تفتقر إلى محطات كهربائية متصلة بالشبكة، فيتضح تركز مخططات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في النطاقات الغربية، ومخططات إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح في مناطق متفرقة بين الشمال والشرق والغرب.

كما يجب اختيار انسب المناطق لإقامة محطات توليد الكهرباء من الطاقة المتجددة للاستفادة التطبيقية من نظم التحليل المكاني Spatial analysis المتاحة في استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) التي تُشكل المعايير المُعتمد عليها في عمليات الاختيار الأنسب للمواقع Best Location الملائمة لإنشاء محطات توليد الكهرباء، ثم إدخال طبقات الخرائط التي تحتوى على المعايير المختلفة، للوصول لخريطة أنسب المواقع.

- **الرؤية المستقبلية**

بعد تكامل منظومة إنتاج الكهرباء المتوقعة من إقامة محطات جديدة مع ارتفاع معدلات الصيانة للمحطات القائمة، وإنشاء شبكة موحدة لنقل الطاقة وإمدادها للمناطق النائية بالدولة وكذلك كهربة الريف وتنمية موارد الدولة من المصادر المتجددة لإنتاج الكهرباء، فكل ما سبق وضع في مخطط للدولة بان يصل إنتاجها من الكهرباء إلى أكثر من ٩٥ ألف ميجاوات عام ٢٠٣٠م كما هو وراد بالجدول (٢٥)، وذلك من أجل الوصول إلى معدلات إنتاج متزايدة تلبي احتياجات السكان من الكهرباء.

جدول (٢٥) تقديرات إنتاج الكهرباء بالسودان من عام ٢٠١٨م حتى عام ٢٠٣١م بالجيجاوات ساعة

السنة	الإنتاج	نسبة التغير	السنة	الإنتاج	نسبة التغير
٢٠١٨	٢١,٣٣٣	٨	٢٠٢٥	٥٠,٤١٠	١٤
٢٠١٩	٢٢,٩٥٧	٨	٢٠٢٦	٥٧,٢٤٠	١٤
٢٠٢٠	٢٦,١٩٤	١٤	٢٠٢٧	٦٤,٩٩٤	١٤
٢٠٢١	٢٩,٨٨٧	١٤	٢٠٢٨	٧٤,٧٩٩	١٤
٢٠٢٢	٣٤,١٠١	١٤	٢٠٢٩	٨٣,٧٩٧	١٤
٢٠٢٣	٣٨,٩١٠	١٤	٢٠٣٠	٩٥,١٤٩	١٤
٢٠٢٤	٤٤,٣٩٦	١٤	المتوسط	٤٩,٥٥١	-

المصدر: مؤتمر الطاقة العربي العاشر، ٢٠١٤م، ص ص: ٣١، ٣٢.

المصدر: (١) وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٦م، ص: ١٤٥. (٢) سليمان، ٢٠١٦م، ص: ٦٥ .

شكل (١٦) البنية التحتية لقطاع الكهرباء في السودان حتى عام ٢٠٣٠م

- النتائج: توصلت الدراسة لمجموعة من النتائج تمثلت في:

١- يتركز التوزيع الجغرافي لشبكات نقل الطاقة الكهربائية والمحطات الكهربائية في القطاع الشرقي من السودان وذلك بسبب نهر النيل الذي يمر في تلك المنطقة ويستغله السودان في إنتاج الطاقة الكهرومائية وتوزيعها على باقي المناطق، وعلى الجانب الأخر يخلو الجزء الغربي للسودان من محطات الكهربائية وقلة خطوط النقل وذلك بسبب بعد المناطق عن نهر النيل.

٢- تعدد مرات انقطاع الكهرباء بسبب تهالك الشبكات وضعف الصيانة لها وكذلك للظروف المناخية وتلوث العازلات والوميض الكهربائي فأثر كل ذلك بالسالب على أداء الشبكة.

٣- لم يستغل السودان الطاقة الشمسية الناتجة عن عدد ساعات السطوع ودرجات الحرارة العالية بالإقليم الغربي في إنتاج الكهرباء، بسبب التكلفة الباهظة لشراء الخلايا الشمسية، وظل الاعتماد بصوره كبيرة على محور نهر النيل حيث استغلال الطاقة المائية في التوليد.

- التوصيات: تم صياغة مجموعه من التوصيات تمثلت في:

١- يجب ربط الشبكة الكهربائية مع المحطات الواقعة خارج الشبكة في إقليم دارفور وربط شبكة الجزيرة بشبكة شرقي السودان لتكوين شبكة قومية موحده، ووضع خطه لإعادة تأهيل خطوط نقل الكهرباء وذلك لتقليل فواقد النقل والتوزيع، وذلك لرفع كفاءة شبكة نقل الكهرباء، وكذلك الربط الكهربائي مع مصر مما يقلل من فقد الكهرباء في أوقات الذروة، مع عمل إحلال وتجديد للشبكة الإقليمية المتهالكة الحالية بالسودان. كما يفضل استخدام كابلات تتحمل التسخين مع زيادة الحمل عوضاً عن الكابلات سيئة النوعية وتغيير نظام التصميم للدوائر الكهربائية علي طول الشبكة.

٢- يوصي البحث بالإسراع في تكملة بناء المحطات والسدود التي تحت الإنشاء ودخولها في الخدمة والبدء في المخطط المقترح لشبكات الربط منذ عام ٢٠١٠م، وتوفير مصادر الطاقة الاحفورية للشبكات الحرارية بصورة دائمة للحد من عمليات التوقف والتشغيل التي تتعرض لها المحطات.

٣- يجب وضع سياسات للحد من أوضاع الخلل في قطاع الكهرباء تتمثل في: فصل وزارة الكهرباء عن وزارة الري والموارد المائية والخزانات لأنه حسب الإستراتيجية القومية للدولة فإن قطاع الكهرباء يتبع لقطاع الطاقة بينما قطاع الري والموارد المائية والخزانات يتبع للقطاع الزراعي وينسق مع قطاع الكهرباء في مجال الطاقة الكهربائية المائية ويوفي باحتياجات مياه الشرب والملاحة النهرية والوقاية من الفيضانات.

٤- يجب أن تتبني الدولة فكرة مشاريع الطاقة المستقلة لرفع كفاءة الإنتاج، من خلال دعم الدولة لفكرة خصخصة قطاع الكهرباء بالسودان، فتعد محطات توليد الكهرباء مشروعاً استراتيجياً، ومن ثم فهي ملكية عامة تقوم الدولة بإدارتها، ولكن مع نقص رؤوس الأموال ظهرت مشكلات القصور في الصيانة والتجديد بمحطات وشبكات نقل وتوزيع الكهرباء.

٥- وضع إستراتيجية واضحة لاستغلال مصادر الطاقة المتجددة، وخلق شراكات بين قطاعات تقنية المعلومات بشركات الكهرباء في الوطن العربي نقلاً للتجارب وتبادلاً للخبرات.

٦- يجب الاهتمام بالصيانة لمحطات الإنتاج أو شبكات الربط عبر الهيئة القومية للكهرباء بالسودان وإلغاء دور شركات الكهرباء في هذا الأمر، لان هذه الشركات أحدثت خللاً كبيراً في قطاع الكهرباء من خلال التشغيل غير السليم للخزانات والسدود، وكذلك إهمال التوليد الحراري بصورة كبيرة مما ترتب عليه الانقطاع المتكرر للتيار الكهربائي، وكذلك يجب تغيير توربينات توليد الكهرباء بتوربينات تعمل بالغاز، وعدم استقدام مولدات صينية الصنع ومتابعة الصيانة الدورية لمحطات التوليد.

7- يجب ان تتبني الدولة تغيير شبكة الكهرباء الهوائية المتمثلة في أسلاك الالومنيوم الفاق دة للطاقة مع النقل، بأخرى أرضية تتمثل أسلاكها من النحاس الأقل فقداً للكهرباء مع النقل.

- مراجع البحث

١. البدوى، عثمان عبد الله، ٢٠١٥م، إنتاج الطاقة الكهربائية واستهلاكها بحاضرة الخرطوم الكبرى (١٩٩٩-٢٠٠٩م)- دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، مجلة دراسات حوض النيل - عمادة البحوث والتنمية
والتطوير - جامعة النيلين، مجلد ٩، عدد ١٧، ص ص: ٤٩-٨٦.

٢. جامعة الدول العربية، ٢٠١٤م، مقترح حول كفاءة الطاقة في نظم إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، الاجتماع السادس لفريق عمل كفاءة الطاقة، القطاع الاقتصادي، إدارة الطاقة، الأمانة العامة للمجلس الوزاري العربي للكهرباء، ص ص: ١-٦٥.

٣. جامعة الدول العربية، ٢٠١٥م، دراسة حول تحليل التوسع المستقبلي الأمثل لأنظمة التوليد الكهربائية للدول العربية حتى عام ٢٠٣٠م، إدارة الطاقة، الأمانة العامة للمجلس الوزاري العربي للكهرباء، ص ص: ١-٢٠٩.

٤. الجمال، ياسر إبراهيم محمد، ٢٠٠٦م، الطاقة الكهربائية في دمياط – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة المنوفية.

٥. حسن، سلطان فولى، ٢٠٠١م، الربط الكهربائي بين الدول العربية – دراسة جغرافية-، مجلة الدراسات الأفريقية، العدد٢٣، ص ص: ٤٣-١١٠، معهد البحوث والدراسات الأفريقية، جامعة القاهرة.

٦. حسن، سلطان فولى، ٢٠٠٦م، جغرافية الطاقة، دار المؤيد، الرياض، المملكة العربية السعودية.

٧. دليل الطاقة، ٢٠٠٥م، النسخة العربية، وكالة الطاقة الدولية، منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، مكتب الإحصاء الأوروبي، لكسمبورج، http://www.iea.org/Textbase/about/copyright.asp.

٨. الديب، محمد محمود إبراهيم، ١٩٩٣م، الطاقة في مصر، دراسة تحليلية في اقتصاديات المكان، مكتبة الانجلو المصرية، القاهرة.

٩. رجب، مصطفى محمد، ٢٠١٧م، جيمورفولوجية حوض نهر العطبرة – باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، معهد البحوث والدراسات الأفريقية، جامعة القاهرة.

١٠. الزهار، فضل الله سعد أحمد،١٩٩٦م، إنتاج واستهلاك الطاقة في محافظة البحيرة، المجلة الجغرافية العربية، العدد ٢٨، السنة ٢٨، ص ص: ٣٧٥-٤٣١، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.

١١. سليمان، أسماء، ٢٠١٦، قطاعات الكهرباء في السودان بين سخط المواطنين وتبريرات المسئولين، http://www.alnilin.com/12774455.htm.

١٢. عباس، مجتبى جعفر، ٢٠١٢م، محددات طلب القطاع الصناعي على الكهرباء في السودان في الفترة من ١٩٩٠ إلى ٢٠١٠م، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الدراسات العليا، جامعة السودان للعلوم و التكنولوجيا، الخرطوم، السودان.

١٣. عبده، سعيد، ٢٠٠١م، إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية في سلطنة عمان (١٩٧٠-١٩٩٨): دراسة في جغرافية الطاقة، المجلة الجغرافية العربية، العدد ٣٨، السنة ٣٣، الجزء الثاني، ص ص: ٣٩-٩٩، الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة.

١٤. فرج، محمد ربيع، ٢٠١٣م، الطاقة في محافظة السويس، دراسة في الجغرافيا الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة القاهرة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.

١٥. مبارك، أمل علي، ٢٠١٤م، التحليل الإحصائي للعوامل المؤثرة على استهلاك الكهرباء في السودان والتنبؤ به للفترة ١٩٩٢-٢٠١٢م، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة أم درمان الإسلامية، أم درمان، السودان، ص ص: ١-٢٢٩.

١٦. مرعي، محمد أحمد، ٢٠٠٠م، إنتاج الكهرباء واستهلاكه في محافظة دمياط – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية – مجلة الإنسانيات، العدد الثامن، جامعة الإسكندرية، آداب دمنهور.

١٧. مصيلحي، فتحي محمد، ٢٠٠٧م، جغرافية الطاقة- من منظور جغرافي وتنموي-، دار الماجد للنشر والتوزيع، القاهرة.

١٨. مؤتمر الطاقة العربي العاشر، الورقة القطرية جمهورية السودان، ٢٠١٤م، دولة الإمارات العربية المتحدة.

١٩. النور، عبد الرحمن محمد، ٢٠٠٩م، تجربة السودان في مجال جمع وتحليل إحصاءات الطاقة، وزارة الطاقة والتعدين، جمهورية السودان، ص ص: ١٢٠-١٥٥.

٢٠. وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٥م(أ)، اتفاقية شراء القوى الكهربائية بين الشركة السودانية للتوليد المائي المحدودة والشركة السودانية لنقل الكهرباء المحدودة، ص ص: ١-٧٩.

٢١. وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٥م(ب)، اتفاقية شراء القوى الكهربائية بين شركة كهرباء سد مروي المحدودة و الشركة السودانية لنقل الكهرباء المحدودة، الخرطوم، السودان، ص ص: ١-٤٥.

٢٢. وزارة الموارد المائية والكهرباء، ٢٠١٦م، مصادر المياه في السودان الإمكانيات والفرص والتحديات في مجال الطاقة، الخرطوم، السودان، ص ص: ١٥٥، ١٦٩.

٢٣. يوسف، كاميليا، ٢٠٠٤م، الفقد في الطاقة الكهربائية، دار الجامعيين لطباعة الاوفست، الازاريطة، الإسكندرية. ص ص: ١-٤٢٤.

24. Abdoun., Nessreen Abdelfatah Ali, 2016, Report of the Energy Efficiency and Environment in the Electricity Sector Report of Energy Efficiency and Environment, COMESA, PP: 1-46, www.africaguide.com.

25. Adaramola. M. S, Oyewola. O. M, 2011, wind speed distribution and Characteristics in Sudan, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 6, NO. 2, PP: 82-86, Asian Research Publishing Network (ARPN), available at: www.arpnjournals.com.

26. Adeola.A, 2008, Efficiency of the Energy Sector and its Impact on the Competitiveness of the Sudan Economy, IAEE Energy forum, International Association for Energy Economics, fourth quarter, PP:27-31, www.iaee.org.

27. African Statistical Yearbook, 2017, African Development Bank Group, African Union Economic Commission for Africa, Scanprint, Denmark.

28. Ali A. Rabah, Hassan B. Nimer, Kamal R. Doud, and Quosay A. Ahmed, 2016, Modeling of Sudan's Energy Supply, Transformation, and Demand, Journal of Energy, Volume 20, Hindawi Publishing Corporation, http://dx.doi.org/10.1155/2016/5082678.

29. Bernd. K, 2016, Upper Atbara Dam Project in Sudan, aktuell, Information on the Lahmeyer Group, No. 59, Kenya , www.lahmeyer-gkw.com.

30. Eseosa. O, Emmanuel. A. O, 2012, Power Losses and Flows 330KV Integrated Power System, International Journal of Advances in Engineering & Technology, Vol. 4, Issue 1, pp. 94-106.
31. Gujba. H, Mulugetta. Y, Azapagic. A, 2011, Power generation scenarios for Sudan: An environmental and cost assessment, Energy Policy, journal homepage: www.elsevier.com/locate/enpol, Elsevier Ltd, PP: 968-980.
32. http://enipedia.tudelft.nl/enipedia/index.php?title=Sudan/Powerplants&oldid=203418
33. http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=44&pid=46&aid=2&cid=r6,&syid=1995&eyid=2011&unit=BTUPUSDP#, download date: 26/4/2018.
34. http://www.merowedam.gov.sd/transp-lines.html.
35. I.E.A.World Fact book. At web Site Iea. Org.eg.
36. Ministry of Water Resources & Electricity in Sudan, 2016, Khartoum, Sudan, PP: 1-136.
37. Naeim Farouk, 2012, Proposal for Improve the Electrical Power Supply in Port Sudan Town, International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 42, PP: 91-100.
38. Nazeef. M, 2005, (A socio-Economic Rights Analysis of the Sudan Electricity Reform Proposal), A thesis Submitted to the Faculty of the Graduated Studies in Partial fulfillment of the requirements for the degree Master of Laws, Calgary, Alberta, Canada.
39. Salih. Tasneem, Wang. Yaodong, Adam. Marwan Awad, 2014, Renewable Micro Hybrid System of Solar Panel and Wind Turbine for Telecommunication Equipment in Remote Areas in Sudan, Energy Procedia, Vol. 61, PP: 80 – 83, ScienceDirect, Elsevier, Available online at www.sciencedirect.com.
40. Sarajcev. I, Majstrovic. M, Medic. I, 2012, Calculation of Losses in electric power cables as the base for cable temperature analysis, Advanced Computational Methods in Heat Transfer, Faculty of Electrical Engineering, University of Split, Zagreb, Croatia, PP: 529-537.