



بسم الله الرحمن الرحيم
جامعة الشيخ عبد الله البدري
كلية الهندسة
قسم الهندسة الميكانيكية

أزمة الكهرباء في السودان بين الحلول السريعة وفرص التحول للطاقة المستدامة

**The Electricity Crisis in Sudan: between Quick Solutions and
Opportunities for Transitioning to Sustainable Energy**

بحث تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة بكالوريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

الطلاب

1/ محمد عبد العزيز محمد بشير

2/ هاشم عمر عبد المجيد محمد علي

الأستاذ المشرف

بروفسير مشارك دكتور أسامة محمد المرضي سليمان خيال

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة

جامعة وادي النيل وجامعة الشيخ عبد الله البدري

فبراير 2025

قال تعالى:

((هو الذي جعل الشمس ضياء والقمر نورا وقدره منازل لتعلموا عدد السنين والحساب ما خلق الله ذلك

إلا بالحق يفصل الآيات لقوم يعلمون))

صدق الله العظيم

سورة يونس - الآية (5)

الإهداء

(Dedication)

إلى من علمني النجاح والصبر... إلى من علمني العطاء بدون انتظار

أبي.

...

إلى من علمتني وعانت الصعاب لأصل إلى ما أنا فيه... إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي...

أمي

إلى جميع أفراد أسرتي العزيزة والكبيرة كل باسمه أينما وجدوا

إلى أصدقائي رفقاء دربي من داخل الجامعة وخارجها

إلى الدكتور المشرف د: أسامة محمد المرضي سليمان خيال

إلى جميع أساتذتي الكرام الذين أناروا دروبنا بالعلم والمعرفة

إلى كل من يقتنع بفكرة فيدعو إليها ويعمل على تحقيقها، لا ينبغي بها إلا وجه الله ومنفعة الناس

إليكم نهدي ثمرة هذا العمل المتواضع.

شكر وعرفان

(Acknowledgement)

الشكر والعرفان لله والتبريكات والصلوات على رسوله وخادمه محمد وعلى آله وصحبه وجميع من تبعه إلى يوم القيامة.

يؤدُّ الباحثان أن يتقدما بالشكر أجذله لكل من ساهم بجهده وفكره ووقته في إخراج هذا البحث بالصورة المطلوبة ويخص بذلك الأساتذة بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة الشيخ عبد الله البدري وجامعة وادي النيل، وأيضاً جميع التقنيين والفنيين بالورش والمعامل بجامعة الشيخ عبد الله البدري.

الشكر والتقدير والعرفان للدكتور أسامة محمد المرضي سليمان خيال الذي أشرف علي هذا البحث وساهم بقدر كبير في مراجعة وإعادة مراجعة محتويات البحث مرارا وتكرارا.

نهدي هذا البحث بصفة أساسية لطلاب دبلوم وبكالوريوس الهندسة في جميع التخصصات خاصة طلاب قسم الهندسة الميكانيكية حيث يستعرض هذا البحث الكثير من التطبيقات في مجال الهندسة الميكانيكية.

أخيراً، نرجو من الله سبحانه وتعالى أن يتقبَّل هذا العمل المتواضع والذي نأمل أن يكون ذو فائدة للقارئ.

نهدي هذا البحث لمن غرس في داخلنا حب العلم والعلماء وله خالص الشكر وأصدق الدعاء كما نتقدم بالشكر الجزيل لذلك الصرح العملاق منارة العلم وبحر العطاء قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة الشيخ عبد الله البدري والعاملين فيها.

الشكر أيضاً موصول لأسرنا التي مهدت لنا طريق العلم لنسلك منه طريقاً فجاجاً.

ملخص

(Abstract)

تتناول أزمة الكهرباء في السودان، التي تسبب انقطاع التيار الكهربائي وتأثيرات سلبية واسعة على الحياة اليومية والاقتصاد، مجموعة من الأهداف البحثية التي تهدف إلى تحليل الوضع الحالي، وتحديد أسباب الأزمة المرتبطة بالسياسة، والاقتصاد، والبنية التحتية، بالإضافة إلى استكشاف الحلول السريعة مثل تحسين إدارة الشبكة الكهربائية، وتعزيز التعاون بين القطاعين العام والخاص. كما يُعد التحول إلى الطاقة المستدامة أحد المحاور الرئيسية، حيث تُبرز الدراسة الإمكانيات الكبيرة للطاقة الشمسية في السودان كخيار نظيف ومستدام، يمكن أن يساهم في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتحسين الوصول إلى الكهرباء، خصوصًا في المناطق الريفية. تشمل الحلول المقترحة الاستثمار في الطاقة المتجددة وتطبيق سياسات فعالة لجذب الاستثمارات، مما يساعد في معالجة الأزمة الكهربائية وتحقيق تحول في قطاع الطاقة في السودان.

Abstract

The electricity crisis in Sudan, characterized by power outages that negatively impact daily life and the economy, involves a set of research objectives aimed at analyzing the current situation and identifying the political, economic, and infrastructural causes of the crisis. The study also explores immediate solutions such as improving the management of the electrical grid and enhancing cooperation between the public and private sectors. A key focus is the transition to sustainable energy, highlighting the significant potential of solar energy in Sudan as a clean, sustainable option that can reduce reliance on fossil fuels and improve electricity access, especially in rural areas. Proposed solutions include investing in renewable energy and implementing effective policies to attract investments, which would help address the electricity crisis and transform the energy sector in Sudan.

مقدمة

(Preface)

يهدف هذا البحث لتأكيد أهمية دراسة أزمة الكهرباء في السودان بين الحلول السريعة وفرص التحول للطاقة المستدامة.

يشتمل هذا البحث على خمس فصول. يستعرض الفصل الأول مقدمة عن أهمية دراسة أزمة الكهرباء في السودان بين الحلول السريعة وفرص التحول للطاقة المستدامة. يناقش هذا الفصل مشكلة البحث من وجهات نظر عديدة يمكن حصرها في الآتي: مقدمة عامة، نشأة تاريخية للكهرباء في السودان، التحديات الراهنة فيما يتعلق بالصيانة والتمويل وتوسعة الشبكة، وأهداف الدراسة.

يشتمل الفصل الثاني من البحث على طبيعة المشكلة والوضع الحالي للإمداد والإستهلاك من وجهات نظر: طبيعة أزمة الكهرباء في السودان، الإمداد بالتوليد المائي والتوليد الحراري، الاستهلاك حسب تقرير البنك الدولي وبعض الاستنتاجات.

أما الفصل الثالث فيهتم بالحلول المقترحة من حيث الآتي: مقدمة، الموارد المتاحة للطاقة البديلة في السودان، التحديات التي تواجه استخدام الطاقة البديلة، الطاقة الشمسية من حيث تعريفها ومزاياها ومحدداتها والتكنولوجيات الرئيسية لتوليد الطاقة الشمسية، أنظمة الطاقة الفوتوفولطية، تطبيقات الطاقة الشمسية الفوتوفولطية، تطبيقات أخرى للطاقة الشمسية، الطاقة الشمسية الحرارية وتغطية العجز في قطاع الكهرباء.

يهتم الفصل الرابع من هذا البحث بالمناقشة من حيث الاعتبارات التالية: مدخل، تحليل الإشعاع الشمسي والموقع الجغرافي، حساب القدرة الإنتاجية للمحطة الشمسية، التكلفة الرأسمالية والتشغيلية، تحليل العوائد المالية، الدراسات البيئية والاجتماعية، اختيار التقنيات والمعدات، المعايير والمتطلبات القانونية، نموذج للدراسة المالية النهائية، الدراسة المالية لمشروع محطة طاقة شمسية بقدرة 2500 ميغاواط في السودان، مقارنة بين الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة الأخرى من حيث الكفاءة الإنتاجية والمالية.

يستعرض الفصل الخامس والأخير الخلاصة والتوصيات من وجهات نظر: أهم النتائج المتحصل عليها من الدراسة، وأهم التوصيات التي يمكن حصرها في الآتي:

1/ تحسين البنية التحتية للكهرباء.

2/ تشجيع الاستثمار في قطاع الطاقة المتجددة.

3/ تطوير الكوادر البشرية.

4/ إنشاء شركات فعالة.

5/ تعزيز البحث والتطوير.

6/ إعداد خطط طاقة متكاملة.

7/ رفع الوعي المجتمعي.

إنَّ الباحثان يأملان أن يُساهم هذا الجهد المتواضع في إثراء المكتبة الجامعية داخل السودان وخارجه في هذا المجال من المعرفة.

المحتويات

(Contents)

الصفحة	الموضوع
ii	الآية
iii	الاهداء
iv	شكر وعرفان
v	ملخص
vi	Abstract
vii	مقدمة
ix	المحتويات
xiv	فهرس الأشكال
الفصل الأول: مقدمة (Introduction)	
1	مقدمة عامة (General Introduction) 1.1
2	نشأة تاريخية للكهرباء في السودان (The Historical Emergence of Electricity in Sudan) 1.2
4	التوليد المائي (Hydropower Generation) 1.2.1
6	التوليد الحراري (Thermal Generation) 1.2.2
6	التوليد البخاري (Steam Generation) 1.2.2.1
6	التوليد بآلات الديزل (Generation with Diesel Engines) 1.2.2.2
6	التوليد الغازي (Gas Generation) 1.2.2.3
6	التحديات الراهنة (Current Challenges) 1.3
7	أهداف الدراسة (Objectives of the Study) 1.4
7	تحليل أزمة الكهرباء الحالية (Analysis of the Current Electricity Crisis) 1.4.1
7	إستكشاف الحلول السريعة (Exploring Quick Solutions) 1.4.2

7	إستكشاف فرص الطاقة المستدامة: (Exploring Opportunities for Sustainable Energy)	1.4.3
---	--	-------

الفصل الثاني: طبيعة المشكلة والوضع الحالي للإمداد والإستهلاك (The Nature of the Problem and the Current State of Supply and Consumption)

8	طبيعة أزمة الكهرباء في السودان (The Nature of the Electricity Crisis in Sudan)	2.1
8	الإمداد (Supply)	2.2
9	الإستعمار والتباين أو المفارقات التنموية (Colonialism and Development Disparities)	2.2.1
13	الحلول المتعجلة (Hasty Solutions)	2.2.2
15	الاستهلاك (Consumption)	2.3
16	تقرير البنك الدولي (World Bank Report)	2.3.1
21	الاستنتاجات (Conclusions)	2.3.2

الفصل الثالث: الحلول المقترحة (Suggested Solutions)

23	مقدمة (Introduction)	3.1
23	الموارد المتاحة للطاقة البديلة في السودان (The Available Resources for Alternative Energy in Sudan)	3.2
23	الطاقة الريحية (Wind Energy)	3.2.1
23	الطاقة الحيوية (Bio Energy)	3.2.2
23	الطاقة الكهرومائية (Hydro – Electric Energy)	3.2.3
24	التحديات التي تواجه استخدام الطاقة البديلة (The Challenges Facing the Use of Alternative Energy)	3.3
24	التمويل (Financing or Funding)	3.3.1
24	نقص البنية التحتية (Infrastructure Deficit)	3.3.2
24	نقص الوعي والمعرفة (Lack of Awareness and Knowledge)	3.3.3
24	البيئة التنظيمية والسياسية (The Organizational and Political Environment)	3.3.4
24	الطاقة الشمسية (Solar Energy)	3.4

24	التعريف بالطاقة الشمسية (Introduction to Solar Energy)	3.4.1
24	مزايا استخدام الطاقة الشمسية (Advantages of Using Solar Energy)	3.4.2
25	التكنولوجيات الرئيسية لتوليد الطاقة الشمسية: (The Main Technologies for Generating Solar Energy)	3.4.3
25	الطاقة الشمسية الحرارية (Solar Thermal Energy)	3.4.3.1
25	الطاقة الشمسية الفوتوفولطية أو الفوتوضوئية (Photovoltaic Solar Energy or Photoelectric)	3.4.3.2
25	أنظمة الطاقة الفوتوفولطية المختلفة (Different Photovoltaic Energy Systems)	3.5
25	أنظمة طاقة شمسية متصلة بالشبكة العمومية (Grid-Connected Solar Power Systems)	3.5.1
27	أنظمة طاقة شمسية غير متصلة بالشبكة العامة (منفصلة عن الشبكة) (Off-Grid Solar Power Systems)	3.5.2
28	أنظمة طاقة هجينة (Hybrid Power Systems)	3.5.3
30	تطبيقات الطاقة الشمسية الفوتوفولطية (Photovoltaic Solar Energy Applications)	3.6
30	نظام تشغيل مضخات الري بالطاقة الشمسية (Solar-Powered Irrigation Pump Operating System)	3.6.1
30	أعمدة إنارة بالطاقة الشمسية (Solar-Powered Lighting Poles)	3.6.2
30	محطات شمسية للمنازل (Solar Stations for Homes)	3.6.3
31	محطات شمسية للمباني (Solar stations for buildings)	3.6.4
31	محطات كبرى للطاقة الشمسية (Major Solar Power Stations)	3.6.5
31	تطبيقات أخرى للطاقة الشمسية (Other Applications of Solar Energy)	3.7
31	الطاقة الشمسية الحرارية (Solar Thermal Energy)	3.8
33	الحقل الشمسي (The Solar Field)	3.8.1
33	المضخات الرئيسية لسائل النقل الحراري (The Main Pumps for the Heat Transfer Fluid)	3.8.2

33	نظام التمدد (Expansion System)	3.8.3
34	سخانات سائل النقل الحراري (Thermal Fluid Heaters)	3.8.4
34	نظام المولد البخاري (Steam Generator System)	3.8.5
34	المعززات الحرارية (Thermal Enhancers)	3.8.6
34	التوربين البخاري (Steam Turbine)	3.8.7
34	المكثف المبرد بالهواء (Air-Cooled Condenser)	3.8.8
34	تغطية العجز (Covering the Deficit)	3.9
	الفصل الرابع: المناقشة (Discussion)	
36	مدخل (Introduction)	4.1
36	تحليل الإشعاع الشمسي والموقع الجغرافي (Analysis of Solar Radiation and Geographic Location)	4.2
37	حساب القدرة الإنتاجية للمحطة الشمسية (Calculating the Production Capacity of the Solar Power Station)	4.3
37	التكلفة الرأسمالية والتشغيلية (Capital and Operational Costs)	4.4
38	التكلفة الرأسمالية (Capital Costs)	4.4.1
38	المصاريف التشغيلية السنوية (Annual Operational Expenses)	4.4.2
38	تحليل العوائد المالية (Financial Returns Analysis)	4.5
39	الدراسات البيئية والاجتماعية (Environmental and Social Studies)	4.6
39	اختيار التقنيات والمعدات (Selection of Technologies and Equipment)	4.7
39	المعايير والمتطلبات القانونية (Legal Standards and Requirement)	4.8
39	نموذج للدراسة المالية النهائية (Model for the Final Financial Study)	4.9
39	الدراسة المالية لمشروع محطة طاقة شمسية بقدرة 2500 ميغاواط في السودان (Financial Study of a 2500-Megawatt Solar Power Plant Project in Sudan)	4.10
39	التكلفة الإجمالية للمشروع (The Total Cost of the Project)	4.10.1
41	مقارنة بين الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة الأخرى من حيث الكفاءة الإنتاجية والمالية (Comparisons between Solar Energy and Other	4.11

Renewable Energies in Terms of Production Efficiency and Financial Aspects)

41	(Productive Efficiency) الكفاءة الإنتاجية	4.11.1
42	(Financial Efficiency) الكفاءة المالية	4.11.2
	الفصل الخامس: الخلاصة والتوصيات (Conclusion and Recommendation)	
43	(Conclusion) الخلاصة	5.1
43	(Recommendations) التوصيات	5.2
43	(Improving Electrical Infrastructure) تحسين البنية التحتية للكهرباء	5.2.1
44	(Encouraging Investment تشجيع الاستثمار في قطاع الطاقة المتجددة	5.2.2
	in the Renewable Energy Sector)	
44	(Human Resources Development) تطوير الكوادر البشرية	5.2.3
44	(Establishing Effective Partnerships) إنشاء شراكات فعالة	5.2.4
44	(Enhancing Research and Development) تعزيز البحث والتطوير	5.2.5
44	(Preparing Integrated Energy Plans) إعداد خطط طاقة متكاملة	5.2.6
44	(Raising Community Awareness) رفع الوعي المجتمعي	5.2.7
	المراجع والكتب	
45	المراجع والكتب	

فهرس الأشكال

الصفحة	اسم الشكل	رقم الشكل
9	شبكة الضغط العالي وشبكة الضغط المتوسط في السودان	2.1
19	مزيج الطاقة للقدرات المستقبلية	2.2
26	نظام طاقة شمسية متصل بالشبكة العمومية	3.1
28	نظام طاقة شمسية غير متصل بالشبكة العامة	3.2
29	نظام طاقة هجين	3.3
33	عناصر تقنية الطاقة الشمسية المركزة	3.4

الفصل الاول

مقدمة

(Introduction)

1.1 مقدمة عامة: (General Introduction)

عرف الإنسان القدرة التي تعرف بإسم الكهرباء منذ أكثر من 2000 سنة فقد أطلق الإغريق القدماء تسمية الإلكترول على القدرة تتولد من حك الكهرمان، حيث يجذب الأشياء الخفيفة إليه، ولكن أحدا لم يفكر في استغلالها إلا في النصف الأول من القرن الثامن عشر عندما إكتشف (ميشيل فاراداي الإنجليزي في عام 1831م ان في الإمكان نقل القدرة المتولدة في سلك وقد إستفاد من قانوني اليد اليسرى واليمنى، وهذا ما تم تطبيقه مستقبلا في صناعة المولد الكهربائي، وصناعة الموتور الذي يعمل بالكهرباء. وأول تجربة كانت عام 1855م بصناعة المولد بموتور في وقت واحد واسماه بالدينامو.

السودان بلد شاسع مترامي الأطراف يتمتع بتنوع في مصادر الطاقة التقليدية ومن بين تلك المصادر الطاقة الكهربائية التي يتباين إنتاجها وتصنيعها عبر مصادر توليد مائية وأخري مصادر توليد حرارية وكل له ظروف إنتاج وإشتراطات توليد للطاقة وهذه الظروف منها ماهي عوامل طبيعية مثل إنتظام التدفق المائي ووجود طبقة صخرية لقيام المشروعات المائية المولدة للطاقة الكهربائية مقارنة بمشاريع التوليد الحراري ذات التكلفة المالية العالية للإنشاء وكذلك أعمال الصيانة والوقود المستخدم في تشغيل المحرك لتلك المولدات الضخمة.

الكهرباء تعد من أهم مصادر التنمية وإستقرار الحياة وتتنوع الكهرباء في البلدان من بلد الي آخر حسب الظروف والبيئة والإمكانيات المادية والقوى البشرية وتعد الكهرباء ضرورة من ضرورات الحياة ونجد ان السودان كقطر من دول العالم الثالث في إفريقيا دخلت إليه الكهرباء مبكرا منذ عام 1908م وتوسعت حسب الطلب والتنامي السكاني ولكنها ظلت تعاني من عدة محددات متمثلة في الزيادة السكانية المتنامية مما عملت علي زيادة الطلب علي الكهرباء وضعف الموارد المادية ساهم بصورة طردية علي كفاءة وجودة القطاع الكهربائي في السودان من حيث التوزيع الجغرافي والجودة في الاداء.

الطاقة الكهربائية تعد من أهم وسائل الحياة الحديثة، ولها تأثير كبير على حياة الإنسان في العديد من الجوانب:

1/ **الراحة المنزلية:** تتوفر الطاقة الكهربائية المستخدمة في الإنارة، التدفئة والتبريد، وتشغيل الأجهزة المنزلية مثل الثلاجات والغسالات والمواقد، مما يجعل الحياة اليومية أكثر سهولة وراحة.

2/ **التكنولوجيا والاتصالات:** تمكن الطاقة الكهربائية من تشغيل الأجهزة الإلكترونية مثل الهواتف المحمولة، أجهزة الكمبيوتر أو الحاسبات، والتلفزيونات، مما يعزز من وسائل الإتصال والمعلومات.

3/ **الصحة والرعاية الطبية:** تعتمد المستشفيات والمراكز الصحية على الطاقة الكهربائية لتشغيل المعدات الطبية الضرورية مثل: أجهزة الأشعة وأجهزة العناية المركزة، والأنظمة الصحية الإلكترونية.

4/ **الصناعة والإنتاج:** تعتبر الكهرباء أساسية لتشغيل الآلات والمعدات في المصانع، مما يزيد من الإنتاجية والكفاءة في الصناعة.

5/ **النقل:** تستخدم الطاقة الكهربائية في وسائل النقل مثل القطارات والسيارات الكهربائية، مما يساهم في تقليل التلوث البيئي.

6/ **التعليم:** تعتمد المدارس والجامعات على الطاقة الكهربائية لتشغيل أجهزة الحاسوب، المختبرات العلمية، والأدوات التعليمية المختلفة.

بفضل هذه الجوانب يمكن القول إن الطاقة الكهربائية تشكل عصب الحياة الحديثة وتساهم بشكل كبير في تحسين نوعية الحياة وتعزيز التقدم والتطور في مختلف المجالات.

1.2 نشأة تاريخية للكهرباء في السودان: (The Historical Emergence of Electricity in Sudan)

عرفت الكهرباء لأول مرة في السودان عام 1908م بتركيب مولد بطاقة (100 كيلو واط) في منطقة برى بالخرطوم بهدف إمداد المصالح الحكومية وبعض المساكن الحكومية، ثم رفعت الطاقة إلى (500 كيلو واط) وبازدياد الطلب تعاقدت حكومة السودان في عام 1925م مع مجموعة من الشركات البريطانية والتي أنشأت شركة النور والطاقة السودانية والتي تعنى بتوليد وتوزيع الكهرباء إضافة إلى خدمات المياه والمواصلات داخل العاصمة والتي كانت تعرف آنذاك بالعاصمة المثلثة (الخرطوم – أم درمان – الخرطوم بحري) وذلك لمدة ثلاثين عام. وبموجب ذلك ارتفعت سعة محطة برى إلى 3000 كيلو واط.

في عام 1952م اشترت حكومة السودان أسهم شركة النور والطاقة السودانية، مع استمرار الشركة في إدارة هذه المنشأة وقد وضعت خطة لتطوير محطة برى بتركيب أربع مولدات بخارية تم تشغيلها واستمرت شركة النور والطاقة السودانية حتى بعد إستقلال السودان في عام 1956م وفي عام 1960م صدر قانون الإدارة المركزية للكهرباء والمياه التابعة لوزارة الأشغال وقد عمّت خدمات الكهرباء والمياه المدن الكبرى في البلاد مثل (ود مدني – عطبرة – بورتسودان) .

في عام 1962م بدأ تشغيل أول محطة كهرباء مائية في الجزء الايسر من خزان سنار بسعة خمسة عشر ميجاواط علماً بأن هذا الخزان شيد اساساً في عام 1925م لري مشروع الجزيرة، ومع هذه المحطة بدأت خطوات إنشاء شبكة النيل الأزرق (BNG) بخط نقل مفرد بجهد (115 كيلو فولت) ليربط بين سنار- ود مدني - الخرطوم.

وفي عام 1964م تم انشاء محطة كهرباء خزان خشم القربة على نهر عطبرة بسعة (13 ميجاواط).

في عام 1966م صدر قانون الهيئة المركزية للكهرباء والمياه لتحل محل الإدارة المركزية للكهرباء والمياه في جميع انحاء السودان وذلك بضم المحطات التابعة لوزارة الاشغال بقدرة كلية (198 ميجاواط) لخدمة (130) مدينة وقرية.

وفي عام 1971م تم قيام محطة توليد الروصيرص التي ربطت بخط مزدوج جهد (220 كيلو فولت) مع الخرطوم ماراً بالمحطات الفرعية (سنار التقاطع - مارنجان - كيلو 10) ومد خط (10 كيلو فولت) إلى ربك وميناء الشريف والفاو، كأكبر محطة توليد مائية والتي بدأت بثلاثة توربينات (Turbines) بسعة 90 ميجاواط.

وفي عام 1975 تم تكوين الهيئة العامة للكهرباء والمياه لتحل محل الإدارة المركزية للكهرباء والمياه. في عام 1984م تم الفصل بين الهيئتين الكهرباء والمياه لتصبح كل هيئة متخصصة في مجالها، وصدر قانون الهيئة القومية للكهرباء واصبحت تشرف عل ادارة شبكة النيل الأزرق التي تضم محطات التوليد المائي في الروصيرص وسنار، بالإضافة إلى محطات التوليد الحراري الموجودة داخل العاصمة في كل من بري والخرطوم بحري وكيلو عشرة وحلة كوكو زائداً محطة توليد ود مدني الحرارية، والشبكة الشرقية التي تضم محطة توليد كهرباء خشم القربة المائية ،ديزل بالإضافة إلى محطة كسلا ديزل التي تغذى المنطقة الشرقية بالإضافة إلى ذلك قامت ادارة كهرباء الأقاليم والتي تضم العديد من المدن في مختلف انحاء القطر الشاسع والتي تبلغ الثلاثة عشر مدنية . أسندت للحكومات الإقليمية الإشراف على خدمات الكهرباء والمياه في أقاليمها على ان تقوم الهيئة القومية للكهرباء بوضع برامج قومية وخطط تنمية الكهرباء في كل البلاد وتقديم المساعدات الفنية الإستشارية اللازمة للأقاليم.

وفي عام 1985م ارجع الاشراف على خدمات الكهرباء في الأقاليم إلى الهيئة القومية للكهرباء. وفي عام 1989م تم دمج الشبكتين النيل الأزرق والشرقية ليصبح اسمها الشبكة القومية، حيث أصبحت تغطي ولاية الخرطوم وأجزاء واسعة من الولاية الوسطى وجزء من الولاية الشرقية.

تتكون الشبكة القومية للكهرباء من:

1/ شبكة النيل الأزرق ((Blue Nile Grid (BNG):

حيث تمتد من الروصيرص إلى سنار فالخرطوم محاذية للنيل الأزرق، ومن سنار إلى ربك، ومن سنار إلى ميناء الشريف (السوكي).

2 / الشبكة الشرقية ((Eastern Grid (EG):

والتي تمتد من ودمدني إلى الفاو فالقضارف ومن ثم كسلا. ويضاف إلى ذلك أى منطقة في البلاد تنشأ فيها خطوط نقل بجهد (66 كيلو فولت) أو أعلى. تبلغ السعة الكلية المركبة للتوليد المائي بالشبكة القومية للكهرباء 622 ميجاواط علماً بأن هنالك مصدرين رئيسيين للتوليد الكهربائي بالشبكة القومية للكهرباء هما:

1.2.1 التوليد المائي: (Hydropower Generation)

تتم الاستفادة من طاقة الوضع (مساقط المياه) وهي طاقة ميكانيكية تتحكم فيها كمية المياه أو ما يعرف بالضغوط المائي أى المسافة الرأسية التي تسقط فيها كتلة الماء وتعرف اصطلاحاً بالمسقط، ففي أثناء سقوط الماء يتم تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركية لتدوير التوربين المائي لإنتاج الكهرباء، والكهرباء المنتجة بهذا الشكل تعرف بالطاقة الكهربائية. المساقط المائية اما ان تكون طبيعية كما في المناطق الجبلية او اصطناعية عن طريق حجز المياه امام السدود، وتندرج تحت هذه الطريقة ايضاً انتاج الطاقة من حركة المد والجزر (طاقة الامواج). ويتم تخزين الطاقة المائية عن طريق الضخ وهو ما يعرف ب (Pumping Storage) توليد الطاقة الكهربائية من المصادر المائية في السودان من خزاني الروصيرص وسنار على النيل الأزرق وخزان خشم القربة على نهر عطبرة حيث تبلغ السعة المركبة بهذه الخزانات (7.3 ميجاواط) والتي تمثل حوالي 49 % من السعة الكلية المركبة بالشبكة القومية.

يرى البعض ان لتوليد الكهرباء من المصادر المائية بعض المزايا هي:

عند انتهاء فترة التقويم الإقتصادي والتي تكون عادة ما بين 20 إلى 30 سنة يصل استهلاك التوليد الحراري نسبة تزيد عن 80% فيما يقل الإستهلاك الكلي لمنشآت الطاقة الكهربائية المائية عن نسبة 20%. لمشروعات الطاقة الكهربائية المائية العديد من الفوائد الاخرى كالزراعة والملاحة وضبط الانهار وتحسين المناسيب للري بالطمبات وتقليل حدة الفيضانات وزيادة انتاج الثروة السمكية وتحسين بيئة المنطقة ورفع مقدراتها السياحية.

مشروعات الطاقة الكهربائية تشغل قدراً كبيراً من المواد المحلية في تشييد السدود. نسبة الإحتياجات للعملة الأجنبية تقل بمشروعات الطاقة الكهربائية المائية بالنسبة لمتطلبات البدائل الأخرى. يحتاج تشييد

مشروعات الطاقة الكهربائية المائية إلى أعداد ضخمة من العاملين ونوعيات واسعة من المهن مما يوسع من فرص التشغيل للعمالة.

الطاقة الكهربائية المائية من انواع الطاقة النظيفة وهي متجددة وان تم استغلالها في توليد الطاقة الكهربائية يعنى توفير البدائل المستهلكة لصالح مستقبل الإنسانية. المنشآت المائية تحسن من الأوضاع البيئية في كثير من الأحيان وتكسبها جمالاً وترفع من امكانياتها السياحية والترفيهية.

ومن جانب اخر فان البعض يعدد عيوب التوليد المائي والتي تتمثل في الآتي:

ان حجز المياه بواسطة السدود يتسبب في بعض الأضرار البيئية التي منها :

– غمر الأراضي بالمياه

– تهجير المواطنين

– تغير البيئة الطبيعية للمنطقة

– زيادة الإطماء والفاقد من المياه نتيجة للتبخير

التكلفة الإبتدائية لإنشاء مشروعات الطاقة المائية كبيرة كما ان الفترة الزمنية بين التنفيذ والإنتفاع من المشروع وهو ما يعرف باسم Time Lead وهي فترة طويلة.

ان موقع السدود التي بها محطات انتاج طاقة كهربائية تملئها عوامل جغرافية وجيولوجية وطبوغرافية، لذا يلاحظ ان معظم السدود القائمة والمقترحة بعيدة عن مراكز الإستهلاك الرئيسية في وسط السودان مما يعنى تكلفة كبيرة لخطوط نقل الكهرباء. بالرغم من هذه العيوب فأن مزايا الطاقة الكهربائية تجعلها المصدر الرئيس لإنتاج الطاقة المتجددة في المستقبل المتطور خاصة وان السودان لم يستغل من امكانياته المتاحة في مجال التوليد المائي الا جزءاً يسيراً. ولكن ولظروف السودان الطبيعية وفي الوقت الحالي فأن كمية العرض من التوليد المائي يتناسب عكسياً مع كمية الطلب الكلي للكهرباء حيث يتدنى التوليد المائي (الفترة الحرجة) وهي الفترة من مارس وحتى سبتمبر، حيث تقل واردات المياه من الهضبة الإثيوبية في فصل الصيف من مارس حتى يونيو مما يترتب عليه قلة تصريف المياه عبر ابواب الخزانات مما يؤدي إلى شح في توليد الكهرباء ، اما في فصل الخريف من يوليو حتى سبتمبر فأن واردات المياه تكون كبيرة مما يستوجب فتح ابواب الخزانات مما يؤدي إلى تقارب منسوب المياه امام وخلف الخزان والذي ينتج عنه تدني توليد الكهرباء اضافة إلى مشاكل الإطماء وكتل الخشب الواردة مع مياه الفيضان مما يفسر التباين الكبير بين السعة التصميمية (للعنفات) المائية والأداء

الفعلي لها خلال تلك الفترة. بينما يرتفع التوليد نسبياً في باقي العام خاصة في فصل الشتاء حيث يتناقص الطلب الكلي على الكهرباء.

1.2.2 التوليد الحراري: (Thermal Generation)

حيث يتم تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية لإدارة ماكينات التوليد الكهربائي والذي يمتاز بالثبات النسبي في توليده للكهرباء ولكن من أهم عيوبه التلوث الناتج عن الدخان الذي تنفثه ماكينات التوليد الحراري حيث ينبعث حوالي (140.1 طن) من غاز ثاني أكسيد الكربون عند انتاج وحدة جيجاوات ساعة سنوياً. تبلغ السعة المركبة للتوليد الحراري بالشبكة القومية للكهرباء 315 ميجاواط تمثل حوالي 51% من السعة الكلية والمركبة بالشبكة. وينقسم التوليد الحراري في السودان إلى ثلاثة أنواع هي:

1.2.2.1 التوليد البخاري: (Steam Generation)

حيث يتم التوليد بعنفات بخارية بسعة مركبة 180 ميجاواط تمثل حوالي 29% من السعة الكلية المركبة بالشبكة القومية وحوالي 57% من السعة المركبة للتوليد الحراري بالشبكة القومية.

1.2.2.2 التوليد بآلات الديزل: (Generation with Diesel Engines)

حيث تبلغ السعة المركبة لآلات الديزل (Engines Diesel) حوالي 68 ميجاواط تمثل حوالي 11% من السعة الكلية المركبة بالشبكة القومية وحوالي 5.21% من السعة المركبة للتوليد الحراري بها.

1.2.2.3 التوليد الغازي: (Gas Generation)

حيث يتم التوليد من عنفات غازية (Gas Turbines) سعة مركبة 68 ميجاواط تمثل حوالي 11% من السعة الكلية المركبة بالشبكة القومية وحوالي 5.21% من السعة المركبة للتوليد الغازي بها.

1.3 التحديات الراهنة: (Current Challenges)

- على الرغم من التوسع الكبير في البنية التحتية الكهربائية، لا تزال هناك تحديات كبيرة فيما يتعلق بالصيانة والتمويل.

- تعاني العديد من المناطق الريفية من نقص الوصول إلى الكهرباء، وهناك حاجة مستمرة لتحسين وتوسيع الشبكة الكهربائية.

اليوم، تتواصل الجهود لتطوير قطاع الكهرباء في السودان وتوسيع وصوله ليشمل جميع أجزاء البلاد، مع التركيز على مصادر الطاقة المتجددة لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء.

1.4 أهداف الدراسة: (Objectives of the Study)

موضوع "أزمة الكهرباء في السودان: بين الحلول السريعة وفرص التحول المستدام في الطاقة" يتضمن مجموعة من الأهداف التي تهدف إلى فهم ومعالجة أزمة الكهرباء في السودان. فيما يلي الأهداف التفصيلية التي يمكن أن توجه استكشاف هذا الموضوع:

1.4.1 تحليل أزمة الكهرباء الحالية: (Analysis of the Current Electricity Crisis)

تقييم الطلب والعرض على الطاقة: تقييم القدرة الحالية على توليد الكهرباء مقابل الطلب داخل السودان. يتضمن ذلك تحديد الفجوات في تقديم الخدمة وتأثيرات نقص الكهرباء على الديموغرافيا والصناعة.

تحديد أسباب الأزمة: استكشاف العوامل التاريخية والسياسية والاقتصادية والبنية التحتية التي ساهمت في الحالة الحالية لأزمة الكهرباء في السودان. قد يشمل ذلك دراسة سوء الإدارة، ونقص الاستثمار، والتحديات الجيوسياسية، وتأثيرات تغير المناخ.

التأثير على المجتمع والاقتصاد: التحقيق في كيفية تأثير أزمة الكهرباء على الحياة اليومية، والتنمية الاقتصادية، والرعاية الصحية، والتعليم، والاستقرار الاجتماعي بشكل عام داخل السودان.

1.4.2 إستكشاف الحلول السريعة: (Exploring Quick Solutions)

استراتيجيات قصيرة الأجل لتوفير الطاقة: تحديد وتقييم التدخلات الفورية التي يمكن تنفيذها لتخفيف نقص الكهرباء، مثل زيادة كفاءة محطات الطاقة الحالية، واستيراد الكهرباء، أو استخدام مولدات الطاقة المؤقتة.

التوصيات السياسية: اقتراح تدابير سياسية يمكن للحكومة اعتمادها لتبسيط سلسلة إمداد الكهرباء، وزيادة الكفاءة التشغيلية، وتحسين الأطر التنظيمية.

مشاركة المجتمع: تحليل دور المجتمعات المحلية في تنفيذ الحلول السريعة، بما في ذلك مشاريع الطاقة المستندة إلى المجتمع أو أنظمة توليد الطاقة المحلية مثل التراكيبات الشمسية.

1.4.3 إستكشاف فرص الطاقة المستدامة: (Exploring Opportunities for Sustainable Energy)

التحقيق في الحلول والتقنيات المستدامة طويلة المدى التي يمكن تطبيقها في السودان لتحويل مشهد الطاقة فيه.

يمكن أن تكون هذه الأهداف دليلاً للبحث والمناقشات والمبادرات المتعلقة بأزمة الكهرباء وخيارات الطاقة المستدامة في السودان.

الفصل الثاني

طبيعة المشكلة والوضع الحالي للإمداد والإستهلاك

(The Nature of the Problem and the Current State of Supply and Consumption)

2.1 طبيعة أزمة الكهرباء في السودان: (The Nature of the Electricity Crisis in Sudan)

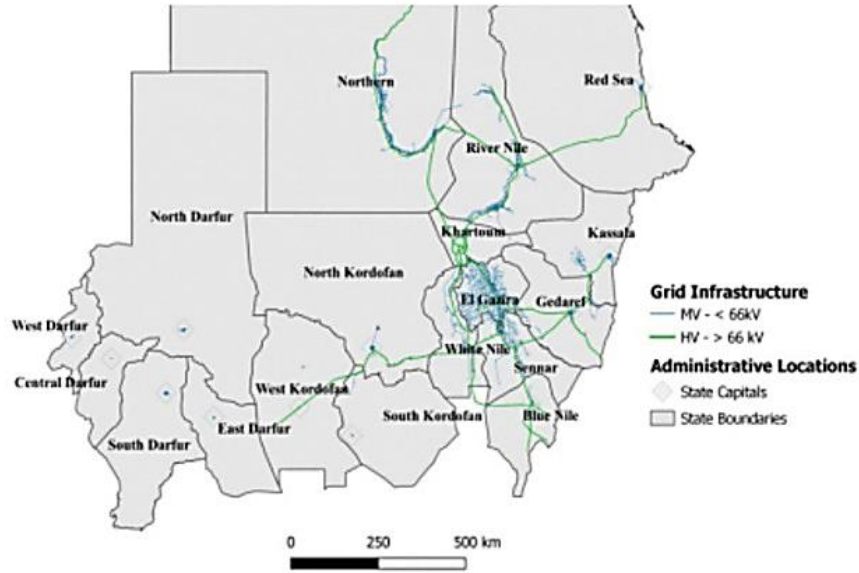
على مدى السنوات القليلة الماضية، كان قطاع الكهرباء في السودان في حالة أزمة: إذ يعيش 60 في المائة من السكان السودانيون بدون كهرباء. ما هو الطريق إلى حل عاجل ومستدام وممكن؟ دخل قطاع الكهرباء في السودان في حالة أزمة في السنوات القليلة الماضية. فبالإضافة إلى نسبة 60% من الشعب السوداني التي ظلت تعيش في ظلام دامس، يعاني ملايين السودانيون اليوم من ساعات انقطاع التيار المستمر حيث لا تغطي السعة المتوفرة سوى 60% من الطلب بالإضافة لزيادات التعرفة المتكررة والتي وصلت إلى 13,000% لبعض الفئات. نتج هذا الوضع المتفاقم عن عدّة عوامل يمكن التفكير فيها من خلال صلتها بعامل الإمداد والاستهلاك. ويتطلّب النظر إلى هذه السياقات التعرف على التغيرات السياسية بين الحكومات المدنية والعسكرية في تاريخ السودان الحديث، بل ومراجعة سياسات الطاقة في الحقبة الاستعمارية والتعرف على التحولات اللاحقة. كما سنحاول معرفة مدى الحساسية البيئية لإنتاج واستهلاك الطاقة وارتباطها بالتحول الطاقوي المستدام، ومدى قدرتها على الإجابة على الشعارات السياسية المرتبطة بثورة شعب السودان المجيدة في ديسمبر 2018م وهي الحرية والسلام والعدالة (Freedom, peace, and justice).

2.2 الإمداد: (Supply)

تتوزع مصادر الطاقة في السودان بين التوليد المائي والتوليد الحراري حيث تقسم السعة الحالية التي تبلغ 3.5 جيجاوات بنسب تقارب 50% لكل منها.

فوفقاً لتقديرات 2018م فإن 32% من الشعب السوداني فقط هم من يتمتعون بإمداد كهربائي من الشبكة القومية، يتركز معظمه في المناطق الحضرية ويستثنى ولايات دارفور الخمس وجنوب كردفان بحواضرها التي يتم إمدادها بواسطة شبكات محلية تعمل بمتوسط ست ساعات في اليوم، وهي نفس مواقع اشتعال النزاعات المتأثرة بالتباين التنموي التاريخي.

الشكل (2.1) أدناه يبين شبكة الضغط العالي وشبكة الضغط المتوسط في السودان وفقاً لمستويات الحكم المحلي الحالي.



شكل (2.1): شبكة الضغط العالي وشبكة الضغط المتوسط في السودان وفقا لمستويات الحكم المحلي الحالي

2.2.1 الإستعمار والتباين أو المفارقات التنموية: (Colonialism and Development Disparities)

يعيش السودان تبايناً تنموياً حاداً ارتبط بتنوع ثقافي كبير منذ الحقبة الاستعمارية والتي قسمت السودان الشمالي عن مناطقه الجنوبية بما في ذلك بعض المناطق في دارفور وكردفان والنيل الأزرق بقانون المناطق المقفولة والتي عزلت مساحات واسعة ومجموعات سكانية متنوعة عن التطور الاقتصادي والاجتماعي لبقية البلاد حتى العام 1946م بعد الحرب العالمية الثانية. سرعان ما اشتعلت الحرب بين شمال السودان وجنوبه في العام 1955 قبل إعلان الاستقلال وكانت أهم الأسباب التباين التنموي وانفراد الشماليين بالحكم واحتكاره لفترات

لم تتوقف السياسات الاستعمارية بل استمرت عمليات النزاع وتطورت من حد المشاركة في الحكم وأخذت طابعاً دينياً بعد الانقلاب العسكري الأول في 1958م واستمرت هذه السياسة وتطورت حتى وصلت قمته في ظل حكم الإنقاذ العسكري الذي امتد من العام 1989م الي العام 2019م والذي ركز التنمية على المناطق الواقعة ضمن مثلث دنقلا، الأبيض، سنار فيما يعرف محلياً بمثلث حمدي والذي قاد إلى تركيز التنمية في منطقة محدودة داخل المثلث المذكور باعتبارها متجانسة ثقافياً ويسهل تشكيل تحالف عربي/إسلامي يكون نواة دولة متجانسة يمكنها الاستمرار كدولة فاعلة حتى لو انفصل عنها الآخرون. وهذا وفر غطاءً أيديولوجياً معلناً للدولة قائماً على التهميش التنموي وتسبب الإقصاء الثقافي والديني في تقسيم البلاد.

وتأتي الطاقة ضمن أهم الخدمات المركزية ذات الطابع السياسي لاستمرار حكم الإنقاذ. تُعدّ هذه الصورة التاريخية المقتضبة ضرورية عند النظر لعمليات إمداد الكهرباء وهي ما نلاحظه بوضوح في الخريطة في الإرث الاستعماري الآخر الذي مازال يثقل كاهل قطاع الطاقة الذي هو مشاريع السدود المائية. عند إلقاء

نظرة متعجلة إلى تاريخ التفكير في إنشاء السدود نجدها ارتبطت بحملات الاستعمار البريطاني المصري للسودان.

وقد بدأت عمليات الدراسات على الشلال الثاني في العام 1897م أي قبل دخول المستعمر إلى الخرطوم مما يوضح مركزية التحكم في مياه النيل كواحدة من الدوافع الاستعمارية، وقد تم وضع استراتيجية تفصيلية في العام 1904م والتي استمرت الدراسات التحضيرية لها دون انقطاع منذ دخول المستعمر للسودان. وقد تمت الدراسات وفق أولويات الاستعمار حينها بضرورة تخزين المياه لصالح التوسع الزراعي في مصر والبحث عن فرص أخرى للتوسع الزراعي في السودان لتوفير المنتجات الزراعية للمستعمر بتكلفة منخفضة.

تم اختيار السير ولیم قارستين والذي يُعد من أبرز العلماء الذين درسوا هيدرولوجيا النيل وله تاريخ طويل في العمل في الهند ومصر وقد كُلف بدراسة خيارات التخزين على النيل وهو أول من وضع تصورًا لبناء سدود على بحيرة ألبرت (الواقعة في أوغندا وتمتد إلى جمهورية الكونغو الديمقراطية) وقناة جونقلي (جنوب السودان) وأشار إلى ضرورة بناء سد على بحيرة تانا (أثيوبيا) وسد على نهر عطبرة (السودان) لتنظيم تدفق المياه. كما أشار لإمكانية الاستفادة من الأراضي بين النيل الأزرق والأبيض (مشروع الجزيرة في السودان) ولتحقيق ذلك اقترح بناء خزان سنار (السودان). نشر تقرير مهم للغاية في العام 1904م يحتوي مقترحات متعددة بما فيها تنظيم مشاريع في مصر، لذا فقد كان أحد دوافع الاستعمار تخزين المياه لمصلحة مصر وتم إكمال الخطط الخاصة بذلك كما ذكرنا في العام 1904م.

استمر هذا النهج في ظل حقبة الاستعمار بوضع قضية التوسع الزراعي بواسطة حفظ المياه وحماية مصر من الفيضانات خصوصاً بعد فيضانات 1945م و1946م، وظهر ذلك في تقرير صيانة النيل المستقبلية 1946م وجاء تناول تفصيلي لتخزين مياه النيل عبر الخزانات مع إشارة مقتضبة للطاقة الممكنة والمتوقع إنتاجها في التقرير الصادر بعنوان التحكم في مياه النيل 1953م و تقرير مورييس مستشار حكومة السودان للري الصادر في 1954م وهو ما أشارت إليه الوثائق الرسمية السودانية الصادرة عن وحدة تنفيذ السدود السودانية، بأن الاستعمار وضع الخطط منذ أربعينيات القرن العشرين لحفظ المياه لمصلحة مصر، وتغيّرت الخطة من إقامة سد مروي بالسودان لإقامة السد العالي لضمان وجوده داخل الأراضي المصرية. وقد بدأ يظهر بوضوح التحول في الغرض من إقامة السدود من تخزين المياه لمصلحة مصر فقط إلى النظر لإنتاج الطاقة بعد التقرير الصادر من البنك الدولي في العام 1983م والذي وضح تفصيلاً إمكانيات الاستفادة من السدود المقترحة لإنتاج الطاقة، وهو ما استندت عليه حكومة الإنقاذ 1989م – 2019م في دراساتها المستقبلية وتحولت جميع المشاريع نحو التركيز فقط على إنتاج الطاقة.

لم تخرج المشاريع التي طُرحت حديثاً (في ظل الحكومات الوطنية) والخاصة بالسدود تحديداً في ظل حكم البشير (1989 – 2019م) من التصور الاستعماري الذي طُرِحَ في تقرير السير قارستين والذي أكمله بعد أكثر

من خمس سنوات من العمل الميداني المستمر، وقد وضع التصور الكلي للاستفادة القصوى من مياه النيل وفق أولويات المستعمر حينها، والتي كان في قمة أولوياتها تخزين المياه لضمان التوسع الزراعي في مصر بعد فشل كل التدابير التي تم اتخاذها. إن التحول الأساسي في النصف الثاني من القرن العشرين هو تحويل الهدف الأساسي المعلن من تخزين المياه لمصلحة التوسع الزراعي (لمصلحة مصر) إلى إطلاق بالونة جديدة وهي إنشاء السدود لإنتاج الطاقة وبالتالي تحقيق التنمية. وهي إعادة تعبئة المشاريع الاستعمارية القديمة في أواني تنموية تحمل الوعود بإنتاج الطاقة، ولكنها لا تستطيع الصمود نظرياً أو أمام واقع التجربة العملية.

ارتبطت فترة حكم البشير (1989م - 2019م) في نصفها الأول بالعزلة والحصار الاقتصادي مما قلل إمكانيات التوسع في الخدمات، وسرعان ما اكتُشف البترول في مطلع الألفينيات ووُقِّعت تسوية سياسية مع أكبر الحركات وأحزاب المعارضة، ممّا وقّر فائضاً اقتصادياً انعكس على بعض الخدمات وفي مقدمتها الطاقة. ولكن لا تخلو هذه الفترة من تحديات سياسية في إدارة المرحلة الانتقالية ما بعد التسوية، مع وضع أولوية مقدمة للحكومة حينها وهي بقاء حكم البشير (نظام الإسلام السياسي) وهو ما انعكس على طبيعة السياسات المتعلقة بالطاقة والدور السياسي لها.

هذا الانعكاس ظهر بصورة جلية في سعي حكومة البشير في بدايات القرن الواحد والعشرين إلى تحويل عمليات إنتاج وتوزيع الطاقة إلى واحدة من أكبر المشاريع السياسية لكسب تأييد مجموعات من سكان الوسط المشار إليهم سابقاً في مثلث حمدي، وذلك بالتوسع في شبكات الإمداد للقطاع السكني لكسب التأييد السياسي. وهو ما دفع الحكومة في العشرية الأولى من القرن الواحد والعشرين إلى طرح نموذج سد مروي بصفته مخلصاً سيقود السودان من الظلام إلى النور والتنمية، وهو ما أشار إليه البشير في خطاب افتتاح السد بقوله "سد مروي مشروع القرن ومشروع بداية نهاية الفقر ومشروع بداية الانطلاقة الكبرى لدولة السودان العظمى".

قدمت حكومة البشير سد مروي كمشروع تنموي كبير وحاولت تسويقه في حفل الافتتاح كرد على مذكرة المحكمة الجنائية الدولية في 2009م التي طالبت المشير البشير والذي ذكر في خطاب الافتتاح: سيصدرون قرارهم غداً وليصدروا بعده قرار ثاني وثالث ولن يصنع فينا شيئاً ولا نرغب في أن ينشغل الناس بالقرارات ونحن سنواصل في التنمية. وكان شعار أنصار البشير حينها (السد للرد)، وسرعان ما انقشعت غيمة الخطاب التنموي أمام واقع زيادة قطع الكهرباء وارتفاع تكلفتها مع مرور الزمن.

قامت الحكومة بتركيز عمليات الإنشاء والتسويق لشركات موالية لها، ما زاد تكاليف الإنشاء بزيادة الفساد والمحسوبية وغياب الرقابة، وبعدها واجه السودان فاتورة الديون المرتفعة التي بلغت حوالي 3 مليار دولار أمريكي، والتي خصصت لبناء السد الذي تناقصت قدرته على إنتاج الطاقة الكهربائية. بعدما كان يروج عند افتتاحه بأنه سينتج 1250 ميجاواط، انخفضت قدرته لأقل من 600 ميجاواط. كما أن غياب الشفافية كان

عاملاً مهماً في زيادة التكلفة البيئية المترتبة على بناء السد، وقد أوكلت الحكومة المهام الهندسية لشركة لاهماير الألمانية (Lahmeyer) والتي أُدينَت في قضايا فساد في مشروعات مياه بمرتفعات ليسوتو في مناطق جنوب أفريقيا، ما قاد البنك الدولي لوقف التعامل معها لسبع سنوات. وقد وجدت مساحات بديلة للعمل في دول مثل السودان حيث يتوفر لها التمويل من جهات أخرى نادراً ما تضع معايير الشفافية في قائمة أولوياتها. وقد استمرت لاهماير بدورها مستشاراً هندسياً لمشاريع سدود أخرى بل توسعت في أعمالها في ظل حكم الإنقاذ.

صاحب بناء السد تجاوزات خاصة بالدراسات البيئية، حيث لم تتم إجازة الدراسات البيئية لمشروع سد مروي حتى العام 2007م. وقد أوضح تقرير الوضع البيئي للسودان الذي صدر ما بعد النزاع المسلح الطويل (الذي شهدته السودان من العام 1983م حتى 2005م) أن الحكومة لم تلتزم بمعاييرها القانونية في إجازة دراسات الأثر البيئي. وعند عرض الدراسات على الجهات المختصة في الدولة لم تتم إجازتها كونها تفتقر لمكونات أساسية، وهو ما قاد للضغط على الجهات الممولة لإيقاف انسياب التمويل. كان رد فعل الحكومة قوياً تمثل في تغيير وزاري حينها تم على أساسه ابعاد الوزير وكل الادارات المعنية بإجازة تقارير الأثر البيئي. وقد تمت إجازة هذه التقارير بعد حوالي أسبوع من تعيين الإدارات الجديدة. هذا يوضح حجم الاهتمام ووضع قضية سد مروي في تلك الفترة ضمن قائمة الأولويات عالية الأهمية.

ويوضح ذلك أيضاً عدم الاهتمام بالآثار البيئية والاجتماعية المترتبة على إقامة السدود، والتي تسببت في زيادة معدلات التبخر والتي بلغ حجمها في حالة سد مروي حوالي 1.5 مليار متر مكعب من المياه بالإضافة إلى زيادة البحيرات الصناعية في السودان بصفة عامة، والتي أثرت بشكل واضح على معدلات إنتاج المحاصيل الأساسية والبساتين في المناطق شمال سد مروي وساهمت في تهجير عشرات الآلاف من المتأثرين وفقدانهم لسبل كسبهم للعيش.

لم تمض إلا سنوات قليلة إلى أن تم الإعلان عن اكتمال تعليية خزان الروصيرص (في ولاية النيل الأزرق حوالي 550 كيلومتر جنوب شرق الخرطوم) في 2013م وبعدها اكتمال سدّي أعالي عطبرة وستيت (في ولايتي كسلا والقضارف، حوالي 460 كيلومتر شرق العاصمة الخرطوم) في 2017م واللذان ينتجان نظريا 280 و 320 ميجاواط على التوالي. وقد بُنيت المشروعات المختلفة بواسطة القروض من الصناديق الخليجية وحكومة الصين، وشكّك كثير من المختصين في جدوى التمويل الصيني والخليجي لمشاريع الطاقة المائية كون الصين تسعى لتوفير القروض مقابل قيام شركاتها الحكومية بعمليات إنشاء السدود، وتوفر بعض دول الخليج القروض مقابل حصولها على الأراضي الخصبة لمواجهة قضايا الأمن الغذائي.

إن توفير التمويل عبر القروض هو إحدى المشكلات التي تواجه مشاريع إنتاج الطاقة وفي مقدمتها السدود. بدلاً من حشد الموارد الذاتية للدول عبر الاستفادة من إمكانية توفير التمويل عبر الضرائب التصاعدية وتكوين

شركات مساهمة عامة وتوفير فرص للمتأثرين والسكان عموماً ليصبحوا مساهمين في المشاريع وفي فوائدها كحلول قادرة على ضمان المشاركة الواسعة والاستفادة من تلك المشاريع، يتم فقط ربط تلك المشاريع بالقروض التي تؤثر على السيادة الوطنية في المشاريع الاستراتيجية وتزيد من ثقل الديون المتركمة.

مثّلت هذه المشاريع (سد مروي، تعلية خزان الروصيرص، سدي أعالي عطبرة وستيت) صورة واضحة لهذه العمليات حيث حصلت الشركات الصينية على عقود الإنشاءات، أما السعودية فقد حصلت على أكثر من مليون فدان (404700 هكتار) لمدة 99 عامًا وهي المساحة الكلية لمشروع أعالي عطبرة الجديد الواقع في أراضي خصبه والذي تفكر المملكة العربية السعودية في استغلاله ضمن مشروع توفير الأمن الغذائي. وقد تم تهجير السكان من أراضيهم قسراً وفرضت عليهم الحكومة تعويضات مجحفة بحيث أن من يمتلك أقل من 10 فدانات زراعية (حوالي 40468 متر) يتم تعويضه بقطعة أرض سكنية بمساحة 300 متر مربع، ومن يمتلك أكثر من 10 فدان يتم تعويضه بقطعتين سكنيتين بمساحة 600 متر مربع. فقد السكان أراضيهم الزراعية وفقد الرعاة مسارات الرعي الطبيعية لأكثر من 7 مليون رأس تقريباً من الماشية وتم تهجير قسري لحوالي 700 ألف مواطن من مناطقهم.

أثبتت التكلفة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية لمشروعات الطاقة المائية من خلال التجربة انخفاض العائد الطاقى منها مقابل حجم التكلفة الكبير، وهو ما يجعلها مشروعات تساهم في زيادة التباين التنموي وفقدان أعداد كبيرة من السكان لسبل كسب عيشهم التقليدية، وبالمقابل نجد أقرب المناطق لتلك السدود (مثل مناطق الخيار المحلي في محلية البحيرة، ومنطقة العازة قرب خزان الروصيرص، وأغلب القرى على ضفاف نهر عطبرة) لا تتمتع بالكهرباء ولا المياه المنتظمة، ما يجعل مشاريع الطاقة المائية تساهم في خلق مناطق تضحية من أجل "التنمية" وتراكم رأس المال في مناطق أخرى وهو ما يساهم في إعادة إنتاج التباين التنموي، ما يعمّق الغبن التاريخي ويساهم في زيادة النزاعات بدرجاتها وأشكالها المختلفة.

2.2.2 الحلول المتعجلة: (Hasty Solutions)

بالإضافة إلى حرمان أكثر من 60% من الشعب من الوصول إلى الشبكة القومية، تفاقمت فجوة الإمداد القومي بفعل زيادة معدلات الاستهلاك السنوية الكبيرة نسبياً، بمتوسط 10% سنوياً، ما وضع القطاع تحت الضغط المستمر لتوفير مزيد من السعة الكهربائية. تمت الاستجابة لهذه الضغوط بتشديد المزيد من المحطات الحرارية باعتمادها الكبير على الوقود المستورد، حيث تمت إضافة أكثر من 1500 ميغاواط حرارية بين عامي 2008م و2019م. وتُقدر تكلفة الوقود المستهلك للقطاع في 2017م بما يعادل 1.3 مليار دولار، ما جعل نسبة الدعم الحكومي للقطاع 15% من منصرفات الدولة. كما أن هذه الكميات المنتجة تتسبب في انبعاثات كبيرة، ما يعادل حوالي 6.25 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون. غطّت السرعة والتكلفة الأولية المنخفضة نسبياً والتي يتم بها إضافة محطات حرارية جديدة للسعة القومية على التحدي التشغيلي

الكبير الذي تواجهه دولة فقدت أكثر من 75% من رصيدها من النفط وأرباحه بانفصال جنوب السودان في 2011م. ولكن جعلها هذا تعتمد إلى حد كبير على الوقود المستورد في ظل أسعار صرف غير مستقرة وبمعدلات تضخم متسارعة. وبالإضافة إلى تزايد الأسعار فإن التوسع في الإنتاج الحراري لا يأخذ بعين الاعتبار الأثر البيئي السالب للتوليد الحراري والذي يتسبب في زيادة كبيرة في انبعاثات الغازات المسببة للتغير المناخي. أما خيارات التوليد الكهرومائي فقد ظلت في قلب الخطط المستقبلية لكن بتنفيذ أقل. وقد صرح نظام الإنقاذ مراراً بعزمه على إقامة مجموعة من السدود الكبيرة على نهر النيل شمال الخرطوم في مناطق دال وكجبار والشريك (بطاقة تشغيلية كلية/مركبة تعادل 990 ميجاواط)، وتقع هذه السدود على الشلال الثاني والثالث والخامس في شمال البلاد، بالإضافة إلى بعض المشاريع المحدودة في إنتاج الطاقة الكهربائية في دقش ومقرات وشري والسبلوقة. وتواجه هذه المشاريع تحديات متعلقة بالرفض الواسع للسكان المحليين بسبب عدم جدواها حسب وجهة نظرهم وكونها ستؤدي إلى إغراق أغلب المناطق السكنية والزراعية والأثرية من شمال الخرطوم وحتى حلفا القديمة، بالإضافة إلى تكلفتها المرتفعة مقارنة بالعائد المتوقع منها. وفنياً فإن محاولة تسويقها كحل يصطدم بواقع إنشاء سد النهضة الذي سيغير من طبيعة النيل ويساهم في استقرار جريان المياه على طول العام، وهو ما يجعلها مشروعات غير مجدية عملياً وتواجه تحديات تنفيذية تجعل تنفيذها أبعد من الواقع.

كل هذا يجعل من خطة القطاع والتي تهدف إلى الوصول لإمداد كهربائي بنسبة 80% بحلول 2031م هدفاً طموحاً جداً. فبالإضافة إلى فجوة السعة المتوفرة فإن التكلفة المرتفعة لمد شبكات النقل والتوزيع تترك بدورها نسبة مقدرة من الشعب في الظلام، حيث نلاحظ في الشكل 1 تركّز خطوط الإمداد في وسط وشمال البلاد، المركز التاريخي للقوة الاقتصادية والسياسية في البلاد.

ورغم العوامل المشتركة بين السودان وبعض دول أفريقيا جنوب الصحراء من انخفاض في معدلات الكهرباء والكثافة السكانية، إلا أنه لم ينجح مثل هذه الدول في خلق أسواق وصناعات مزدهرة من الخيارات البديلة، الشيء الذي يعود في جزء منه إلى العزلة الدولية التي كانت مضروبة على النظام السابق بسبب العقوبات الأمريكية. على سبيل المثال، وبالمقارنة مع تنزانيا التي تمتلك 109 محطة شمسية معزولة بسعة كلية تبلغ 158 ميجاواط، يمتلك السودان محطة واحدة بسعة لا تتجاوز 5 ميجاواط وتم مؤخراً في العام 2023م إضافة محطة شمسية تتبع لأسمنت الشمال الذي يقع ما بين مدينة عطبرة ومدينة الدامر بسعة تتجاوز 50 ميجاواط.

انطلقت المبادرة الأولى في هذا الاتجاه في عام 2014م حينما تم تجريب نموذج الأنظمة الشمسية المنزلية (Solar Home Systems) حيث استهدف النموذج التجريبي 100 مستخدماً بسعة 100 واط لكل مستخدم. صمم البرنامج ليصل سعة كلية مقدارها 110 ميجاواط بعام 2031م.

وفقاً لآخر تقرير فإن عدد المستفيدين قد بلغ 1500 منزلاً في 2018م، تم إمدادهم بالأنظمة الشمسية على أقساط بالتعاون مع بنوك محلية بالأقاليم المعنية. إلا أنه لم تُفتتح أول محطة شمسية إلا في 2020م حينما تم تدشين محطة بسعة 5 ميجاواط في مدينة الفاشر عاصمة ولاية شمال دارفور وأهم مدن إقليم دارفور عموماً.

بينما تشهد كذلك محطّتها التوأم في مدينة الضعين في دارفور بعض العقبات التي حالت دون إكمالها مثل التمويل وتأخير المواد والمعدات وحالات سرقة لبعض المعدات. تم تمويل وتطوير المحطتين بواسطة الشركة السودانية للتوليد المائي والطاقت المتجددة والتنفيذ بواسطة شركة محلية خاصة تدعى توب قير. بينما يجوز إرجاع الأزمة التي تضرب القطاع حالياً إلى عهد البشير وفساده إلا أن الحكومة الانتقالية لمرحلة ما بعد الثورة (2018م) قد فاقمتها بصورة مباشرة وغير مباشرة. فكل إصلاحات الاقتصاد الكلي كانت أُمليت بناءً على العقيدة النيو ليبرالية للبنك الدولي وصندوق النقد الدولي. لم يحاول عبد الله حمدوك، رئيس الوزراء القادم من مكاتب الأمم المتحدة بدوره مقاومتها بحجة كونها شروطاً أساسية لتخفيف الديون وللحصول على قروض ودعومات جديدة.

حيث أدى تعويم الجنيه ورفع الدعم عن السلع الأساسية إلى وصول قيمة الجنيه مقابل الدولار الرسمي 570 جنيه في يناير 2023م والي 2800 جنيه في مايو 2024م مقارنة بـ 55 جنيه في يناير 2021م، وإلى أن يقفز سعر الوقود من أقل من 100 جنيه/الجالون إلى 2500 جنيه/الجالون حتى وصل سعره اليوم (مايو 2024م) الي أكثر من 13000 جنيه للجالون الواحد.

أما الطرق المباشرة التي زعزعت بها الحكومة الانتقالية الإمداد الكهربائي فمصدرها نفس وصفات الإصلاحات الاقتصادية النيو ليبرالية المذكورة آنفاً لكن باستهداف مباشر لقطاع الطاقة. كان تطبيق هذه الإصلاحات التي تأتي في وقت حرج رهيناً بدرجة عالية من التنسيق والتخطيط. ليأتي فشل القطاع في هذا الأمر ويجعل من المستخدمين ضحايا لتوصيات الإصلاحات المجحفة وتنفيذها السيء في آن واحد. كما أن الأمر قد ازداد سوءاً بعد انقلاب الخامس والعشرين من أكتوبر 2021م والذي علقت على إثره كل المعونات الخارجية، ما زاد الضغط على خزانة الدولة وسارع بحزمة الإصلاحات المعطوبة.

2.3 الاستهلاك: (Consumption)

من أهم مظاهر التغيير الجديدة خلال سنوات انتاج النفط في السودان (1999م-2011م) كان التغيير في أسلوب الحياة للطبقة الوسطى الحضرية. الخرطوم الكبرى، العاصمة التي تأوي 20% من سكان البلاد (حوالي 9 مليون شخص) والتي تتمركز فيها أهم الصناعات والخدمات والمعاملات التجارية، والتي بدورها تستهلك 60% من إمداد البلاد من الطاقة الكهربائية. يذهب 60% من هذا الاستهلاك أيضاً للقطاع السكني الذي يستوحي معماره من دبي ودول الخليج الأخرى، حيث استُبدل المعمار التقليدي القائم على مواد من

التراب البارد التي تخلط مع الزبالا وبعض المواد المحلية الأخرى والمساحات الفسيحة والجيدة التهوية للمساكن والدور الحكومية التي تلائم المناخ الصحراوي للسودان بغابات خرسانية من المباني الرأسية رديئة التهوية مما جعل نسبة كبيرة من مواطني المدينة تعتمد بالكامل على أجهزة التكييف والتبريد عالية الاستهلاك الكهربائي، حيث تصل معدلات الطلب في الصيف ضعف ما هي عليه في الشتاء. لكن وعلى عكس دبي، فإن القوانين الصارمة والمؤسسات المنظمة للمباني والتحكم في التصنيع واستيراد الأجهزة الكهربائية غائبة بالكامل، حيث يصل معدل استهلاك المنزل الواحد 308 كيلو واط ساعة في الشهر، أو ما يقارب ستة أضعاف المتوسط لإقليم أفريقيا جنوب الصحراء.

تقوم معدلات الاستهلاك الحضري المرتفعة هذه بالضغط على قطاع توليد الكهرباء من جانب، كما أنها تمارس ضغطاً سياسياً للحصول على إمداد أكثر استقراراً من الجانب الآخر. دفع هذا الضغط في القطاع باتجاه الحلول المتعجلة والطارئة، مثل الزيادة الكبيرة في السعة الكهربائية السابق ذكرها والتي تنوي الخطة الخمسية الموضوعة في العام 2018م في عهد البشير تكرارها بالتخطيط لزيادة السعة المتوفرة بـ 8.7 جيجاوات إضافية، 60% منها من المحطات الحرارية.

تمت مراجعة هذه الخطة بواسطة البنك الدولي (International Bank) في تقريره المنشور في منتصف 2019م والذي تم فيه عرض الوضع الحالي للقطاع وتوصيات إنعاشه. ونسبةً لأن هذا التقرير يخدم الآن كمرجع لإصلاح قطاع الكهرباء، سيتم مناقشة أهم محاوره في النقاط المذكورة في الفقرات التالية.

2.3.1 تقرير البنك الدولي: (World Bank Report)

يمكن قراءة الإصلاحات الأساسية في التقرير من وجهة نظر ثلاثة محاور هي: رفع الدعم عن التعرفة، المزيح الطاقى للسعة المستقبلية ومشاركة القطاع الخاص.

1/ رفع الدعم عن تعرفة الكهرباء: (Removing the Subsidy on Electricity Tariffs)

وفقاً للتقرير فإن التعرفة في السودان تعتبر الأدنى في إفريقيا جنوب الصحراء (بغض النظر عن معدلات الدخل في الدول موضوع المقارنة).

ويضيف التقرير بأن التعرفة تمثل ما بين 1-3% من متوسط الدخل الشهري للأسر، ما يجعلها متوافقة مع المؤشرات الموصى بها بأن لا تتجاوز التعرفة الـ 5% من متوسط الدخل الشهري للأسرة، دون التفكير في عدد الأسر التي تمتلك دخلاً شهرياً ثابتاً في بلد يعمل أكثر من 65% من سكانه بالقطاع غير المنظم.

كما أضاف التقرير كيف يُوجّه الجزء الأكبر من الدعم للفئات الخطأ، حيث يتم استهلاك نسب أكبر من الكهرباء من طرف الفئات العليا في هرم معدلات الدخل أي أن النسب الأكبر من الدعم الحكومي تذهب للأغنياء. ويخلص التقرير إلى أن معدلات الدعم هذه كبيرة جداً ويوصي بخفضها تدريجياً على مدى خمس سنوات لتغطية العجز المالي.

بين يناير 2021م ويناير 2022م عُدلت تعرفه الكهرباء ثلاث مرات مختلفة وبمعدلات أسية. مثلاً، وبالمقارنة مع التعرفة قبل 2021م فقد قلص خط الدعم الحيوي (Lifeline Tariff) وهي الفئة الأقل تكلفة والتي تستهدف الشرائح الاجتماعية الأضعف من 200 كيلوواط/ساعة إلى 100 كيلوواط/ساعة، وزادت تكلفة الكيلوواط/ساعة من 0.15 جنيه إلى 5 جنيه لتتجاوز 3,000% كما زادت التعرفة التجارية والزراعية بنسبة 13,000% و5,000% على التوالي في حزمة الزيادات الأخرى.

انعكست آثار هذه الزيادات القاسية في زيادة أسعار كل المنتجات المصنعة والسلع لتزيد من معاناة المواطنين الذين امتص التضخم مواردهم . بينما يمكننا أن نتفق على ضرورة إصلاحات تعرفه الكهرباء في ظل الأوضاع الحالية للقطاع وللأقتصاد الكلي الذي ورثته البلاد من نظام البشير الفاسد، إلا أن تفاصيل هذه الإصلاحات تبقى موضع جدال. فمن غير العدالة افتراض تمتع من هم في قمة وقاع الهرم الاقتصادي بنفس المقدرة على امتصاص زيادات بهذه الأضعاف المضاعفة في تعرفه الكهرباء وأسعار السلع والخدمات التي صاحبته. فقد كان من الممكن الوصول إلى صيغة إصلاحات أفضل من خلال الموازنة بين معدلات الزيادة للفئات المختلفة. مثل أن تتم المحافظة على التعرفة للفئات الأقل استهلاكاً (بمتوسط 177 كيلوواط/ساعة في الشهر) عند نفس التعرفة ومحاسبة الاستهلاك العالي (أعلى من 600 كيلوواط/ساعة في الشهر مثلاً) بسعر التكلفة الحقيقية، لأن ذلك ليس من شأنه أن يزيد من عوائد القطاع وحسب بل سيحفز الـ1% التي تستهلك أكثر من ربع إمداد القطاع السكني على الترشيد.

رغمًا عن الزيادات الكبيرة في التعرفة إلا أن رفع الدعم مازال جزئياً، ما يعني أنه ثمة زيادات أخرى في طريقها للمواطنين للوصول إلى الرفع الكامل الموصى به، الأمر الذي قد يفاقم الغضب الشعبي الذي يمتلكه المواطنون بعد الإجراءات الانقلابية مؤخراً، خصوصاً في ظل الوضع الحالي الذي لا تُترجم فيه الزيادة في التعرفة إلى استقرار في الإمداد. كما وأن الموجة الأخيرة من الزيادات (2022م) قد شهدت حراكاً قوياً وسط فئة المزارعين الذين قفزت تعرفتهم بنسبة 2,000% مقارنةً بالتعرفة السابقة.

قام المزارعون في شمال السودان في مطلع 2022م وبدعم من القوى المدنية الأخرى بالاحتجاج على زيادة التعرفة الزراعية وطالبوا بتخفيضها، وعبروا عنه بإنشاء متاريس على الطريق القومي الذي يربط شمال السودان بمصر ويسهل عمليات التبادل لكميات مقدرة من السلع والمسافرين. تُوج هذا الاحتجاج بما عُرف لاحقاً بترس الشمال (متراس الشمال) بنجاح يستحق التقدير، وذلك ليس لمقدرته على حجز التعاملات التجارية المشبوهة والتي يهرب من خلالها الذهب والمواد الخام بواسطة القوات النظامية ومعاونيها إلى مصر فحسب وإنما لنجاح هذا الحراك في التمدد من نقطة واحدة ليشمل 14 نقطة إضافية على طول الطريق. وبالإضافة لمطلب خفض تعرفه كهرباء قد أضيفت للقائمة مجموعة من المطالب التاريخية لسكان المنطقة

التي عانت من مشاريع التوليد المائي منذ الاستقلال. استمرت متاريس الشمال لما يزيد عن الأربعة أشهر ونجحت في خفض التعرفة للمزارعين المحليين من 21 جنية إلى 9 جنية.

ختاماً، فإنه وبدون السيطرة على مؤشرات الاقتصاد الكلي للبلاد فسيلتهم التضخم كل الأرباح الإضافية المحققة من رفع الدعم، لترك قطاع الكهرباء بفاتورته المتضاعفة لوقود المحطات الحرارية، الحالية والمستقبلية. كما أنه في ظل معدلات التضخم التي بلغت أكثر من 260% في مارس 2022م والمقدرة الشرائية المنخفضة جداً لشعب يرزح أكثر من نصف سكانه تحت خط الفقر حيث لا يعني تحرير الأسعار في هذا الوضع شيئاً آخر سوى أن القطاع في طريقه ليحيد أكثر عن أهدافه في الكهرباء بحلول 2031م. فلم تأت تجارب الكهرباء الناجحة في دول مثل غانا وكوريا الجنوبية سوى بالمجهودات الحكومية التي تصمم حزمًا للرسوم والتعرفة الملائمة لميزانية المواطنين ذوي الدخل المحدودة وغير المنتظمة.

2/ المزيج الطاقى للسعة المستقبلية: (The Future Energy Mix for Capacity)

في حالة من عدم التنسيق التام بين الجهات المختصة المختلفة في عهد البشير تصعب مقارنة الخطة الموضوعية في 2018م للسعة المستقبلية والمساهمات المحددة قومياً (Nationally Determined Contributions) التي تم الالتزام بها في مؤتمر الأطراف الداعمة في باريس (COP21) وجرى تحديثها في 2021م حيث تستهدف المساهمات القومية الجديدة إنشاء محطات بسعة 3,000 ميغاواط قبل 2031م بمزيج من طاقة الرياح والطاقة الشمسية داخل وخارج الشبكة. بينما تنص الخطة الحكومية على سعة إضافية تمثل فيها المحطات الحرارية 60%، الأمر الذي تمت مراجعته بصورة طفيفة بواسطة تقرير البنك الدولي ليتم تخفيض نسبة التوليد الحراري إلى 50% وزيادة الطاقات المتجددة (عدا التوليد المائي) إلى 800 ميغاواط لكل من طاقة الرياح والطاقة الشمسية، أي ما يعادل نسبة 10% من السعة الإضافية المستقبلية لكل من المصدرين كما هو موضح في الشكل (2.2). يعتمد التقرير معايير التكلفة الدنيا (Least Cost Plan) للوصول إلى المزيج الطاقى للسعة المستقبلية، والذي لا يستصحب سوى التكلفة المالية للمشاريع، غاضاً النظر عن التكلفة البيئية أو الاجتماعية لها.

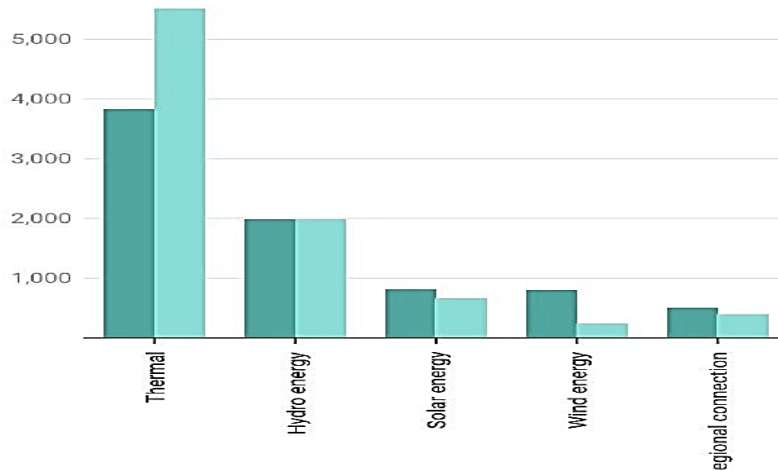
السؤال الذي لا يمكن تجاهله هو لماذا لا تكون النسبة الغالبة في خطط السعات المستقبلية للطاقات المتجددة، مع العلم أن معدلات الإشعاع الشمسي اليومي مرتفعة جداً في البلاد وأن سرعات الرياح تتجاوز 7 متر في الثانية في عدة مواقع، ما يجعلها مثالية للتوليد من طاقة الرياح. ومع الإشارة إلى الانخفاض الملحوظ في أسعار الطاقات المتجددة في السنين الأخيرة، لتصل إلى مستوى التنافسية مع عدة مصادر من الطاقة التقليدية. السمة الأخرى التي لا تزال تسيطر على العقلية التخطيطية هي المركزية المفرطة. تزخر تجارب الدول في الإقليم ودول جنوب العالم الأخرى بتجارب ناجحة لنماذج بديلة ولا مركزية كحل ملائم لكل من مشكلة الكهرباء ومحاولات الانتقال لطاقات نظيفة وعوائق التمويل الضخمة للمشاريع المركزية.

على سبيل المثال، نجحت كينيا في زيادة معدلات الكهرباء بها من 32% في 2013م إلى 75% في 2018م، مستعينة بخليط من الحلول التقنية والمؤسسية تشمل الربط التقليدي بالشبكة وأنظمة الطاقة الشمسية المنزلية (Solar Home Systems SHS) والشبكات الصغيرة المعزولة (Mini/Micro Grids) فتتناقص تكلفة خيار الشبكات الصغيرة باطراد، كما توفر إمكانيات ما يُعرف اليوم بالجيل الثالث من الشبكات الصغيرة ذات التقنيات المرنة، منها إمكانية ربط مجموعة من هذه الشبكات مع بعضها أو مع الشبكة القومية في المستقبل.

رغم تأكيد الخطوط العامة للخطة المستقبلية على الدور المهم للشبكات الصغيرة في مشروع الكهرباء الشاملة في المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة في السودان، إلا أنه لا توجد أية تفاصيل عنها في الخطة قصيرة المدى. فالتقرير يحذو حذو السياسات الحكومية التي ظلت تتسم بتوجيه الموارد المالية المحدودة لتقوية الإمداد للمستهلكين داخل الشبكة كاستجابة عاجلة لأزمة الإمداد الحضري، وإعطائها أولوية تفوق مشاريع الكهرباء للمستخدمين خارج الشبكة رغم التكلفة الاجتماعية الباهظة لحرمان ما يزيد عن 60% من السكان من حقهم في الوصول لخدمة أساسية كالكهرباء.

The energy mix for future capacity

■ World Bank ■ The Sudanese Government



شكل (2.2): مزيج الطاقة للقدرات المستقبلية

3/ إشراك القطاع الخاص: (Involvement of the Private Sector)

أما المكون السحري لوصفة التحرير التي وصفت مراراً وتكراراً حول العالم فهو إتاحة الفرصة للقطاع الخاص للمشاركة وذلك لجذب التمويل والخبرات. في العام 2010م تم تقسيم الهيئة القومية للكهرباء المحتكرة لكل عمليات الإمداد الكهربائي لخمس شركات وفقاً لمهامها التقنية، مثل التوليد الحراري أو المائي أو النقل أو التوزيع وإلخ. نصّت نفس هذه الإصلاحات على إمكانية دخول القطاع الخاص في مرحلة التوليد عن طريق مولّدي الطاقة المستقلين، لكن وفيما عدا المحطات المعزولة التي خُصص لإنشائها وتشغيلها (لا تتجاوز

3% من السعة الكلية) لم يدخل القطاع الخاص بأي شكل في مشاريع التوليد اللاحقة. يعزي تقرير البنك الدولي هذا الأمر لغياب الإطار الكامل الذي يفصل عملية الشراكة وقوانينها، بالإضافة لإنخفاض تعرفه الكهرباء (المدعومة) والتي تعتبر غير جاذبة للمستثمرين .

يدفع الإطار المقترح في تقرير البنك الدولي إصلاحات القطاع الحالية في اتجاه تهيئته ليصبح جاذباً للمستثمرين بدلاً من توجيهها في سبيل رفع القدرات وإعادة هيكلة شركات القطاع العامة لتمكينها من قيادة المشاريع المستقبلية بالكفاءة المطلوبة. لا يهدّد التفكير حالياً في إصلاحات قطاع الكهرباء انطلاقاً من عقلية ربحية استدامة القطاع فحسب، بل بإمكانه أن يكون أمراً عسير التحقق في الأساس، ما يجعل القطاع فريسة للحلول المتعجلة والطارئة من جديد .

إن الموجهات وأفضل الممارسات لصناعة توليد الطاقة التي يسترشد بها مستثمرو الطاقة في العالم هي على النقيض من كل ما عليه القطاع في السودان الآن. حيث نجد في القائمة محددات مثل أجواء مواتية للاستثمار، أطر سياسات واضحة ومتسقة، ممارسة مناقصات تنافسية، إمدادات وقود مستقرة وما إلى ذلك، الأمر الذي يصعب تخيله متحققاً في القريب العاجل في ظل عدم الاستقرار السياسي والاقتصادي الذي يضرب بالسودان حالياً. مثلاً يعاني مولّدو الطاقة المستقلون من الشركات التركية التي تمتلك بعض المحطات المعزولة من صعوبة تأمين إمدادات الوقود وتأخير دفعيات الحكومة لهم، مما يدفعهم لقطع الإمداد الكهربائي عن المدن لأيام.

ربما يكمن السيناريو الأكثر منطقاً وعدلاً (خصوصاً للطبقات الفقيرة) في الفصل بين حل أزمة الكهرباء في البلاد عن إشراك القطاع الخاص في إنشاء السعات المستقبلية وتوجيه قروض التنمية للشركات العامة للقطاع بصورة مباشرة والابتعاد عن الشروط التي يملئها السوق الحر ومحدداته. فبالإضافة إلى ما سبق، فقد أثبت تناقض معظم هذه الشروط الصارخ مع مشاريع كهربية المدن والأرياف ذات الأبعاد الاجتماعية مثل تعرفه الدعم الحيوي (Lifeline Tariff) ، الدعم المتبادل للفئات (Cross Subsidy) ، ضرائب الاستيراد العادلة، ومتطلبات التوطين للصناعات والعمالة. وعموماً، فقد أصبح توفير التمويل الذي بُررت به عمليات إشراك القطاع الخاص مراراً وسيلة لـ "خصخصة المعونات" التي تخدم كأداة استعمارية جديدة تُفاقم من خلالها تبعية الدول النامية من دون أن يصاحب ذلك خطوات حقيقية في اتجاه حلول مستدامة للمشاكل المعينة، بل تتحول هذه المعونات إلى قناة يتم من خلالها صرف ميزانيات الدعم التنموي للشركات الخاصة في كل بلد. تمثل باور أفريكا (Power Africa) على سبيل المثال أكبر المبادرات العاملة في مشاريع الطاقة في أفريقيا جنوب الصحراء بالتزامات تمويل كئيّة تصل إلى 54 مليار دولار حالياً، وتستخدمها الحكومة الأمريكية لزيادة أرباح القطاع الخاص في أمريكا. ففي 2016م مثلاً وُجّهت ما يقارب الـ 90% من التزامها ذو السبعة مليار دولار لبنوك ومؤسسات تمويل خاصة أمريكية لتنفيذ أو تمويل مشاريع طاقة في أفريقيا جنوب الصحراء.

أما حجة أن شركات الطاقة المحلية تفتقر للكفاءة التنفيذية التي تمكّنها من قيادة مشاريع كهذه فهو أمر قابل للدحض. فخلال سنوات النفط في السودان بين الأعوام 1999م و2011م، وقرّ الانتعاش الاقتصادي المصاحب لها فوائض معتبرة لخزينة الدولة، و رغم الفساد والمحسوبية، لم تكن الهيئة القومية للكهرباء حينها ناقصة للخبرات الفنية والإدارية للقيام بإصلاحات ناجحة وذات نطاق واسع: مثل التحول إلى نظام الدفع المقدم الذي رفع معدلات التحصيل إلى 93% (ضمن الأعلى في الإقليم) ، وأيضاً تم الصرف بصورة جيدة على تأهيل الكوادر وتدريبها داخل وخارج البلاد، ما جعلها تتمتع بوضع جيد واستحقاقات مالية عالية حافظت عليها من ظاهرة هجرة الأدمغة إلى الخارج التي تميّز معظم قطاعات البلاد. وفي السنين الأخيرة تمّت أيضاً مشاريع لتوطين (Localization) صناعة عدة معدّات مثل مصانع جميع المحوّلات وتصنيع وبرمجة عدادات الدفع المقدم.

2.3.2 الاستنتاجات: (Conclusions)

ربما من الأجدر أن نخطو حتى ولو خطوات صغيرة في الاتجاه الصحيح المستدام والعاقل اجتماعياً عوضاً عن القفزات الكبيرة لحل مشاكل فئات محدودة مثل الطبقات العليا والغنية ذات النفوذ والسلطان بخيارات ذات تكلفة بيئية واجتماعية كبيرة والتي غالباً ما تقع على كاهل الطبقات الفقيرة والمهمّشة. فبالإضافة إلى مشكلة الوصول إلى الشبكة التي ظل يعاني منها سكان الريف والرحّل والطبقات الحضرية الهشة بنسبة أكبر، فقد تفاقمّت حدة انقطاع التيار الكهربائي المتكرر في المناطق الحضرية. بينما بإمكان هذه الأزمة تعزيز العقلية الباحثة عن الحلول الطارئة والأقل تكلفة، فقد تكون أيضاً فرصة لإعادة التفكير في الطرق المعهودة لتوليد وإدارة الإمداد الكهربائي.

لقد ظل التجاهل التام لمُعاش المجتمعات المحلية ومشاكلها سمةً تميّز مشاريع الطاقة الضخمة متمثلةً في محطات السدود المائية منذ الاستقلال وحتى اللحظة، ويظهر التجاهل جلياً في عمليات التهجير القسري وتدمير سبل العيش التقليدية. وأضف إلى ذلك أنّ التوجه الذي يتزايد مؤخراً في اتجاه المحطات الحرارية والمدفوع بانخفاض تكلفتها الأولية والسهولة النسبية لعمليات إنشائها بالرغم من أنها مُضرّة بالبيئة بصورة كبيرة. وقد تبيّنت إشكالات اعتمادها على الوقود المستورد في تضخيم التكلفة التشغيلية لهذه المحطات، خصوصاً في ظل التدهور المستمر للعملة المحلية وارتفاع أسعار الوقود العالمية مؤخراً.

يتجلى في خارطة الطريق الحالية لحل أزمة الكهرباء التّبني الكامل وغير المشروط للإصلاحات الليبرالية الجديدة التي تملّحها علينا المؤسسات المالية العالمية التي تدّعي دعم الشعب السوداني في تطلعاته في الانتقال الديمقراطي. فمعالم الإصلاحات المستقبلية لم تجد كثيراً عمّا سبقها من استراتيجيات للقطاع من العهد البائد أو حتى مخططات مشاريع الطاقة المائية التي وضعها المستعمر.

تتعلق أهم هذه الإصلاحات برفع تدريجي للدعم عن تعرفه الكهرباء وجذب مستثمري القطاع الخاص وتقدير السعات المستقبلية باستخدام معايير التكلفة الدنيا؛ فهذه ثلاثة محاور نوقشت تبعاتها الاجتماعية والاقتصادية والبيئية، خصوصاً على الفئات الأكثر هشاشة في المجتمع.

لا تدعي هذه الدراسة الإجابة الكاملة على الأسئلة الشائكة التي تطرحها الأزمة الحالية للكهرباء بالبلاد لكنها حاولت الإشارة إلى المعايير الأساسية والأولويات التي يجب أخذها في الحسبان عند التفكير في الحلول، والأسباب التي تجعل طريقة التفكير الحالية معيبة. ففي جانب الإمداد نجد إشكالية إعطاء الأولوية للقطاع الخاص ولمحطات توليد مركزية بمصادر طاقة غير صديقة للبيئة لاعتبارات مالية بحتة. بينما في جانب الاستهلاك نرى الأهمية الثانوية المعطاة للمواطنين خارج الشبكة وفي المناطق المهمشة بالإضافة إلى ارتفاع التعرفة غير المناسب مع أوضاع الفئات الأكثر فقراً.

كذلك يجدر التأكيد على عدم وجود حل واحد يستجيب لمتطلبات كل الفئات، الأمر الذي يستدعي دراسة وفهم احتياجات وسياقات الفئات الاجتماعية المختلفة، ما سيملي بالضرورة حلولاً تقنية وهياكل مؤسسية مختلفة، وما سيقضي بدوره متطلبات تمويل متباينة تمكن من حشد موارد مالية متنوعة بين التمويل الذاتي والعمومي ورأس المال الخاص ومساعدات التنمية منخفضة أو صفيرية الفوائد. كما بإمكان السودان ضم صوته للدفع بأجندة التعويضات المناخية للحصول على مصادر مالية لا تحمله أعباء ديون إضافية، وتمكنه من تبني تقنيات توليد طاقة تساهم في تقليل الانبعاثات وتحد من الاعتماد على المصادر النباتية للوقود التي تهدد الغابات والغطاء النباتي. ما سيمكّن أيضاً من الوصول إلى المزيج الملائم من الحلول التي تعتمد على نظام الإمداد المركزي أو غير المركزي أو المستقل وتخصيص ميزانيات أكثر عدالة اجتماعياً.

مثل كثير من المشاكل في دول جنوب العالم، تحتاج أزمة الإمداد الكهربائي الحالية في السودان إلى حل عاجل ومستدام وقابل للتنفيذ، ما يتطلب درجة عالية من التخطيط المتكامل بين أجهزة الدولة المختلفة وإعادة ترتيب الأولويات وفقاً لمتطلبات التنمية الاقتصادية والاجتماعية العادلة والمستدامة والموائمة للسياسات المحلية.

يجب على الانتقال الطاقى الأخضر (Green Energy Transition) والعادل في السودان أن يأخذ بعين الاعتبار أهمية صياغة السياسات بصورة مستقلة عن الإرث الاستعماري القديم بخياله، والذي يركز على بنى تحتية ضخمة وأيقونية تُشيد لرمزيتها السياسية وتخدم النخب، وأن يكون بعيداً كل البعد عن الواجهات الاستعمارية الجديدة (New Colonial Fronts) بعودها للتمويل، الذي لا تنعكس آثاره سوى في أسعار أسهم الشركات العابرة للقارات.

الفصل الثالث

الحلول المقترحة

(Suggested Solutions)

3.1 مقدمة: (Introduction)

البحث في موضوع الطاقة البديلة في السودان هو خطوة مهمة نحو تعزيز التنمية المستدامة وحل أزمة الطاقة في البلاد. السودان يمتلك موارد طبيعية هائلة يمكن استغلالها في توليد الطاقة المتجددة. هذا البحث سيتناول الحوافز والمزايا التي يمكن تحقيقها من الطاقة البديلة، العقبات التي تواجه تطوير هذه الطاقة، والحلول المقترحة بناءً على دراسات وتجارب دولية.

يعتمد السودان بشكل كبير على الوقود الأحفوري لتوليد الكهرباء والطاقة، لكن مع التحديات التي تواجهه مثل شح الموارد المالية وارتفاع تكلفة الوقود التقليدي، بات من الضروري البحث عن مصادر طاقة بديلة ومستدامة. الطاقة البديلة تشمل الطاقة الشمسية، الرياح، الطاقة الحيوية، والطاقة الكهرومائية، وكل منها يقدم فرصاً لتحقيق التنمية المستدامة.

3.2 الموارد المتاحة للطاقة البديلة في السودان: (The Available Resources for Alternative Energy in Sudan)

3.2.1 الطاقة الريحية: (Wind Energy)

المناطق الشمالية والشرقية من السودان خصوصاً البحر الأحمر تمتلك سرعات رياح تتراوح بين 6 و 7 متر في الثانية،

وهي كافية لتشغيل توربينات الرياح بكفاءة عالية.

توضح دراسة حديثة أصدرتها الهيئة السودانية للموارد الطبيعية أن إنشاء مزارع للرياح في مناطق بورتسودان يمكن أن يغطي حوالي 15% من الطلب الوطني على الكهرباء.

3.2.2 الطاقة الحيوية: (Bio Energy)

يعتمد السودان بشكل كبير على الزراعة، ومع توفر مخلفات زراعية وحيوانية بكميات ضخمة، يمكن استغلالها في إنتاج الغاز الحيوي أو الوقود الحيوي.

هنالك دراسة أجريت حديثاً في ولاية الجزيرة حول الطاقة الحيوية أوضحت أن 35% من المخلفات الزراعية يمكن تحويلها إلى وقود حيوي، لتوليد الطاقة الكهربائية أو لتشغيل المعدات الزراعية.

3.2.3 الطاقة الكهرومائية: (Hydro – Electric Energy)

يملك السودان عدداً من السدود على نهر النيل، أبرزها سد مروي، الذي يمكن توسيعه أو بناء سدود إضافية على النيل الأزرق والنيل الأبيض.

هنالك دراسة صدرت حديثاً حول الطاقة الكهرومائية أجراها المركز الإقليمي لأبحاث الطاقة المائية تشير إلى أن السودان يمكنه مضاعفة إنتاجه من الكهرباء المولدة من السدود بحلول العام 2025م.

3.3 التحديات التي تواجه استخدام الطاقة البديلة: (The Challenges Facing the Use of Alternative Energy)

3.3.1 التمويل: (Financing or Funding)

تفتقر العديد من المشاريع في السودان الى التمويل الكافي، حيث يتطلب تطوير مشاريع الطاقة المتجددة استثمارات كبيرة في البنية التحتية والتكنولوجيا

هنالك دراسة تمويلية أجراها البنك الدولي (International Bank) تشير إلى أن السودان يحتاج إلى إستثمارات تتجاوز 1.5 مليار دولار لبدء الإستفادة الفعالة من الطاقة الشمسية فقط.

3.3.2 نقص البنية التحتية: (Infrastructure Deficit)

تحتاج مشاريع الطاقة البديلة إلى شبكات توزيع فعالة، بالإضافة إلى مراكز لتخزين الطاقة، وهو أمر غير متوفر بشكل كافٍ حالياً.

هنالك دراسة حول البنية التحتية في هيئة تقرير من برنامج الأمم المتحدة يشير إلى أن تطوير البنية التحتية للطاقة في السودان سيتطلب 10 سنوات على الأقل من الاستثمارات والتحسينات.

3.3.3 نقص الوعي والمعرفة: (Lack of Awareness and Knowledge)

هناك نقص في المعرفة التقنية حول كيفية إدارة وتشغيل مشاريع الطاقة المتجددة.

3.3.4 البيئة التنظيمية والسياسية: (The Organizational and Political Environment)

تحتاج البلاد إلى سياسات تشجيعية وتنظيمات تدعم الاستثمارات في الطاقة البديلة.

3.4 الطاقة الشمسية: (Solar Energy)

3.4.1 التعريف بالطاقة الشمسية: (Introduction to Solar Energy)

تنشأ من تفاعلات الاندماج الحراري النووي التي تحدث في الشمس. تمثل الإشعاع الكهرومغناطيسي بأكمله (الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وموجات الراديو).

3.4.2 مزايا استخدام الطاقة الشمسية: (Advantages of Using Solar Energy)

الطاقة الشمسية هي مصدر الطاقة المتجددة الأكثر انتشاراً. يمكن استخدام الطاقة الشمسية في مجموعة متنوعة من التطبيقات مثل التدفئة والطهي والتجفيف وتحلية المياه والإضاءة وانظمة الري ومصدر للطاقة

في المناطق النائية. لا تسبب أنظمة الطاقة الشمسية أي تلوث وأيضاً لا تحتوي عادة على أجزاء متحركة ويسهل صيانتها.

3.4.3 التكنولوجيات الرئيسية لتوليد الطاقة الشمسية: (The Main Technologies for Generating Solar Energy)

3.4.3.1 الطاقة الشمسية الحرارية: (Solar Thermal Energy)

تستخدم في السخانات الشمسية، التدفئة المباشرة، الطهي، التجفيف، توليد الطاقة بطريقة غير مباشرة، الخ.

3.4.3.2 الطاقة الشمسية الفوتو فولتية أو الفوتو ضوئية: (Photovoltaic Solar Energy or Photoelectric)

تستخدم في توليد الكهرباء بطريقة مباشرة، وفيها تقوم الألواح الشمسية بتحويل ضوء الشمس إلى تيار كهربائي، وسنتكلم عن انظمتها بإستفاضة. وسوف نخص بالحديث الانظمة الفوتو فولتية (Photovoltaic Systems) ذات الاستخدام المنزلي أو التجاري المحدود التي تهتم الشريحة الأكبر من المستخدمين العاديين.

3.5 أنظمة الطاقة الفوتو فولتية المختلفة: (Different Photovoltaic Energy Systems)

3.5.1 أنظمة طاقة شمسية متصلة بالشبكة العمومية: (Grid-Connected Solar Power Systems)

يتم تغذية الطاقة المتولدة من الألواح مباشرة إلى شبكة الكهرباء العمومية أو الأحمال الكهربائية عن طريق عاكس (انفرتر). شبكة الكهرباء العمومية في هذا النظام أمر لا بد منه .

المكونات الرئيسية للنظام: (The Main Components of the System)

الألواح الشمسية: (Solar Panels)

تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى تيار مستمر.

هياكل معدنية لحمل الألواح الشمسية: (Metal Structures for Supporting Solar Panels)

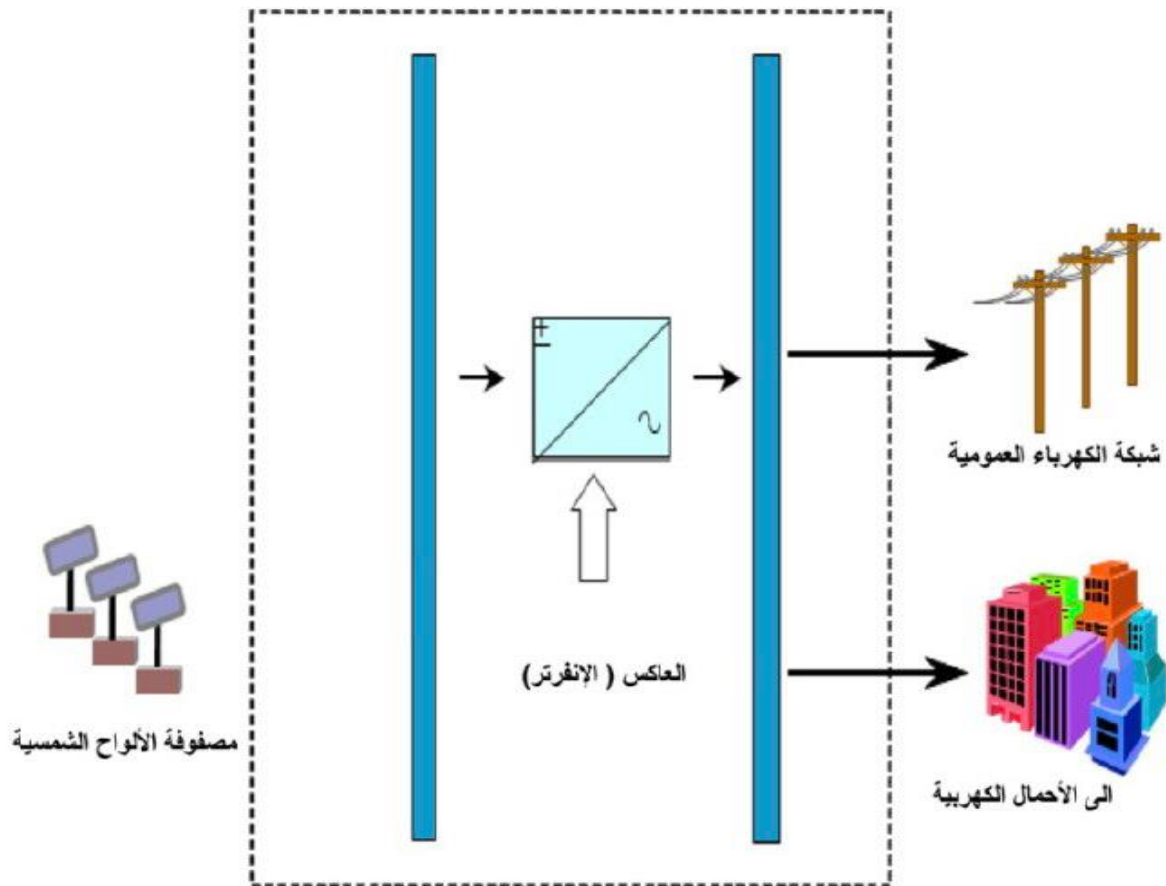
عاكس (انفرتر): يحول خرج الألواح الشمسية (التيار المستمر) إلى تيار ترددي للأجهزة المنزلية أو يتم إعادته إلى خط شبكة الكهرباء.

الحمل الكهربائي: الأجهزة الكهربائية المتصلة بنظام الطاقة الشمسية مثل الإضاءة، الراديو، التلفزيون، الكمبيوتر، الثلاجة، وأجهزة تكييف وتبريد الهواء وغيرها من الأدوات والأجهزة الكهربائية والمستلزمات المنزلية.

ملحوظة:

هذه المحطات لا تحتوي على بطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية فهي تعمل على توليد الطاقة نهارا فقط وإمداد الشبكة الحكومية بالكهرباء ونظرا لتغير الطاقة المتولدة من هذه المحطات طوال فترة النهار لا يتم توصيلها مباشرة بالأحمال. يتم فصل الطاقة المولدة من الألواح الشمسية في حالة انقطاع الكهرباء الحكومية العامة.

الشكل (3.1) أدناه يبين نظام طاقة شمسية متصل بالشبكة العمومية.



شكل (3.1): نظام طاقة شمسية متصل بالشبكة العمومية

يكون الاتصال بالشبكة على النحو التالي:

أ/ الجهد المنخفض (220 فولت 50 هيرتز - 380 فولت 50 هيرتز)
كما في حالة التركيب فوق أسطح المنازل والمباني، لا توجد حاجة الى تركيب محولات رفع الجهد.
يمكن توضيح الحالات الثلاثة التالية أثناء النهار :

1/ الطاقة الكهربائية المتولدة من المحطة تعادل الطاقة المطلوبة للأحمال (حالة تعادل)
2/ الطاقة المتولدة أكبر من الطاقة المطلوبة للأحمال (المحطة الفوتوفولتية تعطي طاقة كهربائية للشبكة الحكومية العامة).

3/ الطاقة المتولدة أقل من الطاقة المطلوبة للأحمال (الشبكة الحكومية تعطي طاقة كهربائية للأحمال)
وفي أثناء الليل تقوم الشبكة الحكومية بتزويد الأحمال بالطاقة الكهربائية المطلوبة.
ب/ الجهد المتوسط – الجهد العالي أو أي جهود متاحة بالشبكة الحكومية (11 كيلو فولت 50 هيرتز – 20 كيلو فولت – 66 كيلو فولت الي آخره).

ما هي آليات عمل هذه المنظومة؟ (What are the Mechanisms of Operation of this System?)

يوجد مجموعة من الآليات لإنشاء مشروعات الطاقة الشمسية ذات الاستخدام المنزلي أو التجاري المحدود التي تهم الشريحة الأكبر من المستخدمين العاديين، وتشمل الآتي:

تعريف التغذية: (Feed in Tariff)

هي آلية لتشجيع إنتاج الكهرباء من مصادر متجددة بحيث تقوم شركات الكهرباء بشراء الطاقة المتجددة من منتجها بسعر معلن مسبقا يحقق عائد جاذب للإستثمار من خلال إتفاقيات شراء طاقة طويلة الأجل لمدة 25 عام للطاقة الشمسية، وهي تختلف باختلاف التكنولوجيا المستخدمة وسعة المحطة وموقعها.

صافي القياس: (Net Metering)

هي آلية تقوم فيها شركة توزيع/ نقل الكهرباء بتركيب عداد ثنائي الإتجاه اللازم لتبادل وإستخدام الطاقة الكهربائية المنتجة من الطاقة الشمسية، وهذه هي الآلية المستخدمة حاليا" في مصر.

3.5.2 أنظمة طاقة شمسية غير متصلة بالشبكة العامة (منفصلة عن الشبكة): (Off-Grid Solar Power Systems)

يتم تغذية الأحمال بالطاقة الشمسية في حالة عدم توافر شبكة الكهرباء. الشكل (3.2) أدناه يوضح نظام طاقة شمسي غير متصل بالشبكة العامة (منفصل عن الشبكة) (Off-Grid Solar Power Systems).

المكونات الرئيسية للنظام: (The Main Components of the System)

الألواح الشمسية: تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى تيار مستمر.
هيكل معدنية لحمل الألواح الشمسية.

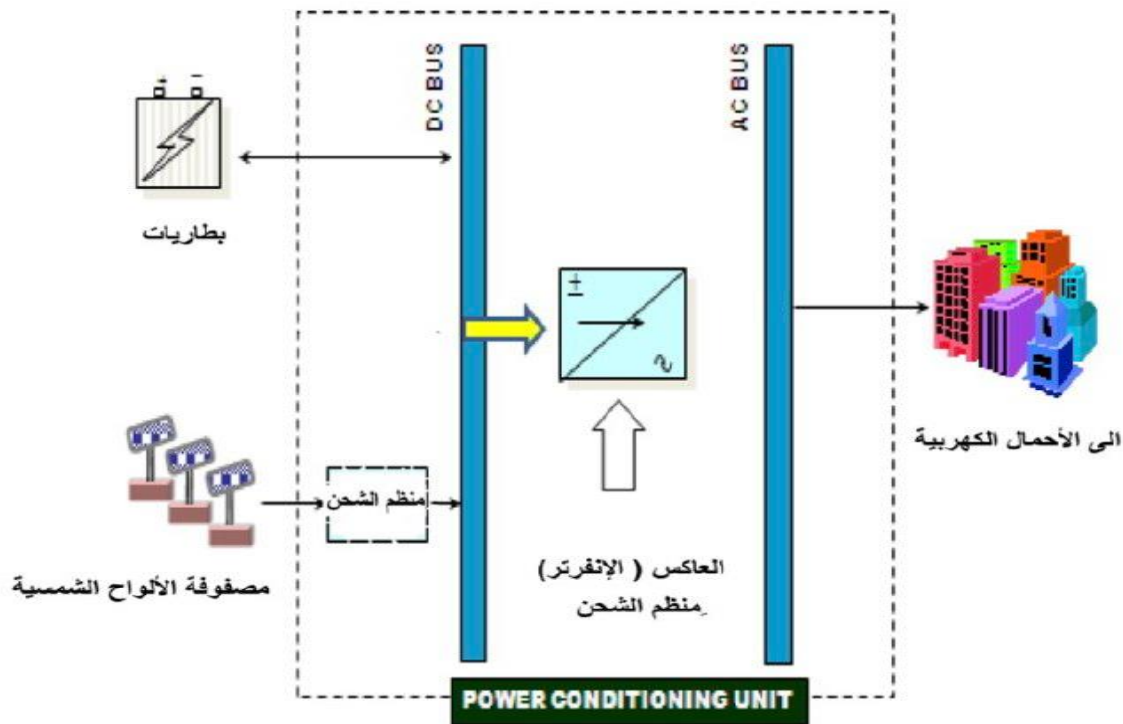
منظم شحن: ينظم الجهد والتيار القادم من الألواح الشمسية المتجه إلى البطارية ويمنع الشحن الزائد ويطيل عمر البطارية.

عاكس (انفرتر): يحول خرج الألواح الشمسية (التيار المستمر) إلى تيار متردد للأجهزة المنزلية.

البطاريات: تخزن الطاقة لتزويد الأجهزة الكهربائية عندما يكون هناك طلب.

الحمل الكهربائي: الأجهزة الكهربائية المتصلة بنظام الطاقة الشمسية مثل الإضاءة، الراديو، التلفزيون، الكمبيوتر، الثلاجة، إلخ .

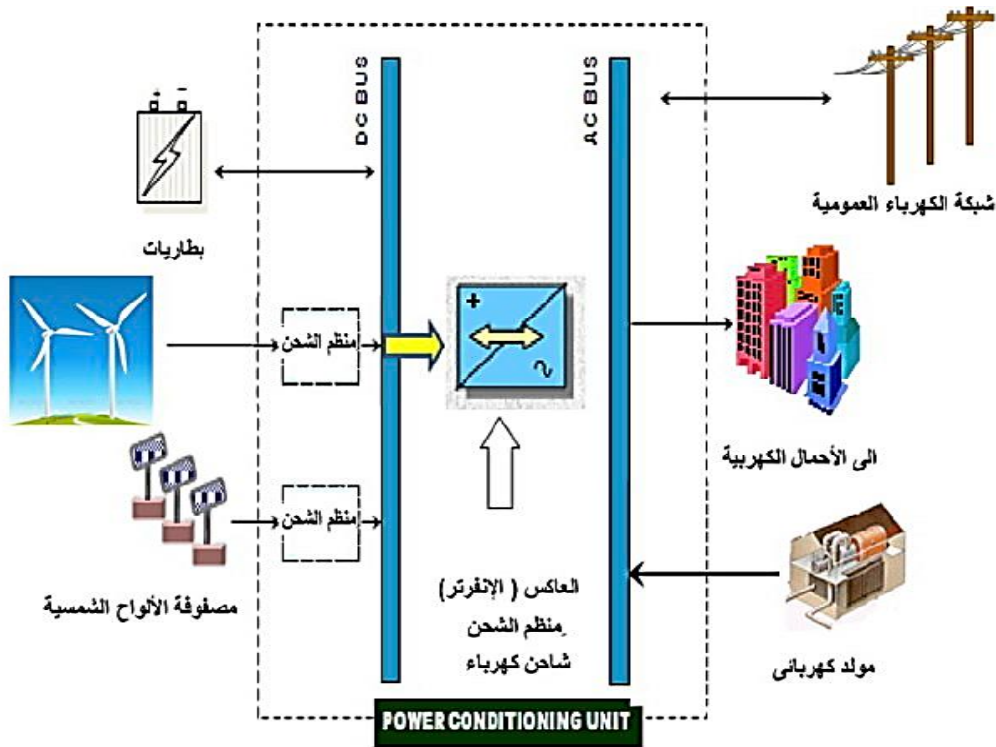
ملحوظة: هذه المحطات تقوم بتغذية الأحمال بالطاقة الكهربائية المطلوبة طوال ساعات الليل والنهار دون الاعتماد على الشبكة الحكومية ويمكن زيادة السعة الخاصة بالبطاريات للتغلب على فترات عدم سطوع الشمس في بعض أيام الشتاء لتغذية الأحمال.



شكل (3.2): نظام طاقة شمسي غير متصل بالشبكة العامة (منفصل عن الشبكة) (Off-Grid Solar Power Systems)

3.5.3 أنظمة طاقة هجينة: (Hybrid Power Systems)

عندما يتم دمج مصدر طاقة آخر أو أكثر (كالهتباء الحكومية، مولد الكهتباء "ديزل"، رياح،) في نظام الطاقة الفوتوفولتية، يطلق عليه نظام هجين. الشكل (3.3) أدناه يوضح نظام طاقة هجين.



شكل (3.3): نظام طاقة هجين

أمثلة لبعض الأنظمة الهجينة: (Examples of Some Hybrid Systems)

1/ محطات متصلة بالشبكة الحكومية ذات طاقة إحتياطية: (Stations Connected to the Government Network with Backup Power)

عندما يتم تخزين الطاقة المولدة من الألواح الشمسية التي لا يتم استخدامها بواسطة الأحمال في البطاريات أو تتم إعادتها إلى الشبكة، ويتم استخدامها في حالة انقطاع الكهرباء الحكومية.

2/ محطات غير متصلة بالشبكة الحكومية ذات طاقة إحتياطية: (Off-Grid Stations with Backup Power)

عندما يتم تخزين الطاقة المولدة من الألواح الشمسية في بطاريات تخزين، ويتم استخدامها في حالة انقطاع الكهرباء الحكومية.

محطات غير متصلة بالشبكة الحكومية ذات مولد كهربائي احتياطي: (Stations Not Connected to the Government Grid with a Backup Generator)

عندما يتم الإعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر رئيسي وفيه يتم تخزين الطاقة المولدة من الألواح الشمسية في البطاريات، وفي حالة عدم وجود طاقة كافية في الألواح أو البطاريات لتشغيل الحمل، يتم استخدام مولد كهربائي كإحتياطى لتوليد الكهرباء اللازمة وشحن البطاريات.

محطات غير متصلة بالشبكة الحكومية تستخدم الطاقة الشمسية وطاقة الرياح مع مولد كهربائي احتياطي: (Off-Grid Stations Use Solar Energy and Wind Energy with a Backup Electric Generator)

عندما يتم الإعتماد على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح كمصدر رئيسي وفيه يتم تخزين الطاقة المولدة من الألواح الشمسية وتوربينات الرياح في البطاريات، وفي حالة اهمية الأحمال الكهربائية ولضمان عدم انقطاع الكهرباء عنها، يتم استخدام المولد الكهربائي كإحتياطي لتوليد الكهرباء اللازمة وشحن البطاريات.

3.6 تطبيقات الطاقة الشمسية الفوتوفولطية: (Photovoltaic Solar Energy Applications)

وهي تطبيقات اثبتت كفاءة وجدوى اقتصادية تصلح للعديد من الإستخدامات في التطبيقات الهندسية المختلفة.

3.6.1 نظام تشغيل مضخات الري بالطاقة الشمسية: (Solar-Powered Irrigation Pump Operating System)

هو عبارة عن نظام منفصل عن شبكة الكهرباء. وهو من أفضل تطبيقات الطاقة الشمسية وفيه يتم تحويل الكهرباء من الألواح الشمسية الى موتور الري بدون استخدام بطاريات تخزين، عن طريق عاكس (انفرتر) لتغذية موتورات الري، ويتم تخزين فائض الإنتاج في خزان مياه. حيث ان تخزين المياه في خزان أفضل واوفر من تخزين الكهرباء في بطاريات. وفيه يتم استخدام الطاقة الشمسية الضوئية كبديل للطرق التقليدية مثل مولد الديزل.

3.6.2 أعمدة إنارة بالطاقة الشمسية: (Solar-Powered Lighting Poles)

هي عبارة عن نظام منفصل عن الشبكة. وهي تتكون من ألواح شمسية مركبة على عمود إنارة لإنارة الشوارع أو الميادين. تقوم الألواح الشمسية بشحن بطارية قابلة لإعادة الشحن عن طريق منظم شحن (يتم وضعها داخل صندوق أعلى أو أسفل العمود وذلك لحمايتها من السرقة، الأمطار وغيرها)، والذي يقوم بتشغيل كشافات LED خلال الليل.

تستخدم اعمدة الإنارة بالطاقة الشمسية عادة بالطرق أو المناطق الجديدة التي لم يتم مد كابلات كهرباء بها او لا يوجد بها مصدر كهرباء، أما الأعمدة الموجودة والتي يوجد بها كابلات كهرباء فلا يفضل استخدام الطاقة الشمسية بها ويفضل دائما تغيير الكشاف الموجود بكشاف LED لتوفير الطاقة.

3.6.3 محطات شمسية للمنازل: (Solar Stations for Homes)

وتكون فوق أسطح المنازل او تكون متكاملة او مدمجة مع المنزل، وقد تكون متصلة بالشبكة (يتم ربطها على الجهد المنخفض)، منفصلة عن الشبكة أو قد تكون محطة هجين وسنفضل لاحقاً متى نستخدم كل نوع من الأنواع السابقة.

3.6.4 محطات شمسية للمباني: (Solar stations for buildings)

وغالباً ما تكون مباني لشركات خاصة او حكومية، مجمعات تجارية أو مجمعات صناعية، وغالباً ما تكون المحطة في هذه الحالة متصلة ودائماً ما يتم ربطها بالشبكة على الجهد المنخفض.

3.6.5 محطات كبرى للطاقة الشمسية: (Major Solar Power Stations)

هي محطات استثمارية كبيرة و يتم تنفيذها على مسطحات أرضية بمساحات واسعة والتي تفضل أن تكون قريبة من محطات محولات الشبكات الحكومية حيث يساعد ذلك في تقليل تكلفة كابلات الربط الكهربائي بين المحطة الشمسية والشبكة الحكومية ، و يتم تنفيذ هذه المحطات عن طريق الدولة ذاتها حيث تقوم بطرح مناقصات بنظام البناء و التملك و التشغيل (the Build-Own-Operate (BOO)) و التعاقد على شراء الكهرباء المنتجة من المحطة لمدة 20 سنة بالسعر الذي تنتهي اليه المناقصة، او عن طريق مستثمر يقوم ببيع الكهرباء المنتجة للدولة او للمستهلكين مباشرة و يتم ربطها على الجهد المتوسط او الجهد العالي. وفي هذه المحطات يتم أمداد الشبكة الحكومية طوال فترة النهار بالطاقة الكهربائية المتولدة من المحطة الفوتوفولتية أما أثناء الليل فتقوم الشبكة الحكومية بتزويد المحطة بالطاقة المطلوبة لتغذية المذبذبات والإضاءة وغيرها.

3.7 تطبيقات أخرى للطاقة الشمسية: (Other Applications of Solar Energy)

وهي غالباً أنظمة غير متصلة بالشبكة الحكومية مثل الأنظمة التالية:

محطات تحلية المياه بالطاقة الشمسية.

تشغيل محطات الإتصالات بالطاقة الشمسية.

تشغيل إشارات السكك الحديدية وإشارات المرور بالطاقة الشمسية.

تشغيل الإعلانات بالطاقة الشمسية.

3.8 الطاقة الشمسية الحرارية: (Solar Thermal Energy)

تستخدم تقنية المجمع المكافئ لتركيز أشعة الشمس وتحويلها إلى حرارة يتم إرسالها إلى توربين بخاري لتشغيله وتوليد الطاقة. يتم تكثيف البخار الناتج من التوربين البخاري بمكثف مبرد بالهواء.

يضم الحقل الشمسي مصفوفات من مجمعات الطاقة الشمسية المترابطة بشكل متواز باستخدام منظومة من الأنابيب المعزولة. يتم تدفق سائل نقل حراري بارد عند حوالي 280 - 300 درجة مئوية من مولد البخار إلى موزع السائل الحراري البارد الذي يوزعه على 192 حلقة من مجمعات الطاقة الشمسية. تتكون كل حلقة من أربع مصفوفات من مجمعات الطاقة الشمسية. يتم تسخين سائل النقل الحراري ضمن الحلقة ليتجه بعدها نحو موزع السائل الحراري الساخن الذي يعيد السائل الساخن من جميع الحلقات إلى مولد البخار الشمسي. وبهذه العملية، يدخل سائل النقل الحراري الحقل الشمسي عند 280-300 درجة مئوية ويغادر الحقل عند 400 درجة مئوية.

تقوم مجمعات الطاقة الشمسية بتجميع حرارة الشمس من خلال مجمعات من مرايا القطع المكافئ التي تعمل على تركيز الإشعاع الشمسي على خط من عناصر تجميع الحرارة المثبتة عند مركز القطع المكافئ. يتم تركيب مرايا القطع المكافئ على هيكل يتضمن أبراجاً ومحامل فولاذية. وتعمل المحطة وفق آلية التتبع أحادي المحور للشمس، ما يضمن الاستفادة المثلى من أشعة الشمس.

وتعمل أنابيب الامتصاص الموجودة ضمن عناصر تجميع الحرارة على تحويل أشعة الشمس إلى حرارة. في حين تتضمن حلقة سائل النقل الحراري استخدام سخان يعمل بنوعين من الوقود وذلك لتوفير الطاقة الحرارية المطلوبة أثناء وجود السحب أو تدني مستوى الأشعة الشمسية، وبالتالي تجنب إيقاف عمل التوربين البخاري وضمان قدرة المحطة على إنتاج 100 ميجاواط من الكهرباء.

يعمل سائل النقل الحراري على توليد بخار بدرجة حرارة تبلغ حوالي 380 درجة مئوية ضمن مولد البخار الشمسي. ولتعزيز كفاءة التوربينات البخارية، يتم تسخين البخار في معززات حرارية تعمل بنوعين من الوقود إلى درجة حرارة 540 درجة مئوية. حيث يتم تحويل البخار شديد السخونة إلى التوربين البخاري المكثف، الذي يقوم بدوره بتوليد الطاقة. ويتم استخدام المكثف المبرد بالهواء لتكثيف تدفق بخار عادم التوربين البخاري، لتتم إعادة ناتج التكثيف إلى مولد البخار الشمسي.

عناصر تقنية الطاقة الشمسية المركزة: (Elements of Concentrated Solar Power Technology)

الشكل (3.4) أدناه يوضح عناصر تقنية الطاقة الشمسية المركزة، وهي تشتمل على العناصر الآتية:

1/ الحقل الشمسي.

2/ المضخات الرئيسية لسائل النقل الحراري.

3/ نظام التمدد.

4/ سخانات سائل النقل الحراري.

5/ نظام المولد البخاري.

6/ المعززات الحرارية.

7/ التوربين البخاري.

8/ المكثف المبرد بالهواء.



شكل (3.4): عناصر تقنية الطاقة الشمسية المركزة

3.8.1 الحقل الشمسي: (The Solar Field)

تستخدم محطات الطاقة المزودة بمرايا عاكسة شكل القطع المكافئ عادةً كمجمّعات لهذه المرايا حيث تتموضع في الحقل الشمسي وفق توزيع مناسب، وذلك لتركيز أشعة الشمس المباشرة عبر متلقي أنبوبي. وتقوم حقول المجمّعات هذه بتأمين الطاقة الحرارية، والتي بدورها تدير التوربين البخاري. ويحتوي حقل مرايا القطع المكافئ في المحطة الشمسية على 192 حلقة تحوي كل واحدة أربع مصفوفات من مجمّعات الطاقة الشمسية (SACs)، وفي كل مصفوفة 12 مجمع طاقة شمسية.

3.8.2 المضخات الرئيسية لسائل النقل الحراري: (The Main Pumps for the Heat Transfer Fluid)

تقوم المضخات الرئيسية لسائل النقل الحراري بتدوير الزيت الحراري عبر الحقل الشمسي ذو أحواض القطع المكافئ، وتحافظ بذلك على الضغط في الدائرة الرئيسية، وتسخّنه قبل ضخّه إلى مولد البخار الشمسي.

3.8.3 نظام التمدد: (Expansion System)

نظام التمدد يسهل عملية تقلص وتمدد الزيت الحراري بناءً على تغير درجة حرارة السائل العامل خلال التشغيل اليومي.

3.8.4 سخانات سائل النقل الحراري: (Thermal Fluid Heaters)

تُستخدم سخانات سائل النقل الحراري في تسخين الزيت الحراري مع بدء تشغيل المحطة يومياً. ولضمان كفاءة التشغيل، من الضروري تحويل كامل الطاقة الشمسية المجمعة من الحقل الشمسي إلى توربين بخاري يكون جاهزاً للدوران فوراً بمجرد توافر الطاقة من الحقل الشمسي. ويتم تشغيل هذه السخانات يومياً لتسخين سائل النقل الحراري داخل مجمّع الطاقة، ويساعد ذلك على بدء تشغيل المعززات الحرارية وزيادة درجة حرارة البخار بما يؤدي إلى تشغيل التوربين البخاري في الوقت المناسب.

3.8.5 نظام المولد البخاري: (Steam Generator System)

يولّد نظام المولّد البخاري بخاراً عالي الحرارة عن طريق تبادل الحرارة التي يوقّرها الزيت الحراري (سائل النقل الحراري).

3.8.6 المعززات الحرارية: (Thermal Enhancers)

المعززات الحرارية مسؤولة عن توفير حرارة فائقة للبخار الذي يتم توليده في نظام المولد البخاري الشمسي. تولد المعززات الكهرباء بكفاءة عالية مقارنةً بمحطات الطاقة الشمسية ذات أحواض القطع المكافئ.

3.8.7 التوربين البخاري: (Steam Turbine)

تعد وحدة مولد التوربين البخاري جزءاً من النظام المسؤول عن تحويل الطاقة الحرارية التي يوقّرها البخار فائق التسخين إلى طاقة ميكانيكية وكهربائية.

3.8.8 المكثف المبرد بالهواء: (Air-Cooled Condenser)

يتولى المكثف المبرّد بالهواء تكثيف البخار عبر إزالة الحرارة الكامنة من بخار عادم التوربين البخاري بواسطة هواء مروحة.

3.9 تغطية العجز: (Covering the Deficit)

السودان يعاني من عجز كبير في قطاع الكهرباء نتيجة لعدة عوامل، منها ضعف البنية التحتية، وعدم كفاية التوليد الكهربائي لتلبية الطلب المتزايد. تشير التقديرات إلى أن إجمالي الطلب على الكهرباء في السودان يتجاوز 4000 ميغاواط، بينما القدرة الفعلية المتاحة للتوليد تبلغ حوالي 2000-2500 ميغاواط، مما يترك عجزاً يتراوح بين 1500 و2000 ميغاواط.

تكلفة إنشاء محطة طاقة شمسية بسعة 2500 ميغاواط تعتمد على عوامل متعددة، منها الموقع، التقنيات المستخدمة، تكاليف العمالة والبنية التحتية، والدعم الحكومي أو الدولي. ومع ذلك، يمكن تقديم تقدير عام بناءً على التكاليف العالمية للطاقة الشمسية.

التكاليف التقديرية لتغطية العجز: (The Estimated Costs to Cover the Deficit)

التكلفة العالمية لإنشاء محطات طاقة شمسية تتراوح بين 800 إلى 1200 دولار أمريكي لكل كيلوواط من السعة المركبة. بناءً على هذه الأرقام، يمكن تقدير تكلفة محطة بسعة 2500 ميغاواط.

لتكلفة الإجمالية للمشروع: 2.5 مليار دولار.

الإيرادات السنوية الصافية: 320 مليون دولار.

فترة استرداد التكلفة: 8 سنوات.

العائد طويل الأمد (25 عامًا): 8 مليار دولار.

الفصل الرابع

المناقشة

(Discussion)

4.1 مدخل: (Introduction)

تصميم محطة طاقة شمسية في السودان يتطلب دراسة شاملة للقدرة الإنتاجية، التكاليف والعوائد الاقتصادية. بدايةً، يمكن تقدير القدرة الإنتاجية لمحطة شمسية تخدم منطقة بمتوسط سطوع شمسي يتراوح بين 5-7 كيلوواط ساعي لكل متر مربع، مع الأخذ في الاعتبار أن مساحة الأرض المتاحة يمكن أن تؤثر على الحجم الكلي للمحطة. لنفترض أننا نخطط لإنشاء محطة بقدرة 1 ميغاوات، وإن كنا سنستخدم ألواح بقدرة 350 واط لكل لوح؛ سنحتاج إلى حوالي 3000 لوح شمسية. في هذا السياق، يمكن أن تصل تكلفة المحطة إلى حوالي 1-5.1 مليون دولار أمريكي، تشمل تكاليف المعدات، والتركيب، والصيانة. إذا كانت المحطة تعمل بشكل مثالي لمدة 3000 ساعة سنوياً، فإن القدرة الإنتاجية السنوية ستكون حوالي 3,000,000 كيلوواط ساعة، مما يعني إمكانية توليد عوائد من بيع الطاقة التي يمكن استخدامها لتغطية التكاليف التشغيلية وتوليد أرباح للمستثمرين. على المدى الطويل، تعد الطاقة الشمسية في السودان خياراً مربحاً نظراً لتكاليف التشغيل المنخفضة وارتفاع الطلب على الطاقة، مما يساهم في توسيع الشبكة الكهربائية وتحفيز التنمية الاقتصادية المحلية.

إليك التفاصيل الأكثر دقة حول تصميم محطة طاقة شمسية في السودان، تشمل حسابات القدرة الإنتاجية، التكاليف، والعوائد الاقتصادية:

4.2 تحليل الإشعاع الشمسي والموقع الجغرافي: (Analysis of Solar Radiation and Geographic Location)

اختيار الموقع: يعتمد اختيار موقع المحطة على مستوى الإشعاع الشمسي والمكان المتاح للتوسع. السودان يتميز بموارد شمسية وفيرة، ويمكن الاعتماد على برامج مثل (Global Solar Atlas) أو (Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)) لتقدير متوسط الإشعاع الشمسي في مناطق مختلفة.

الإشعاع الشمسي: يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي اليومي في السودان بين 5 و7 كيلوواط ساعة/متر مربع. سنستخدم هذا المتوسط لحساب الطاقة المتوقعة.

4.3 حساب القدرة الإنتاجية للمحطة الشمسية: (Calculating the Production Capacity of the Solar Power Station)

لحساب الطاقة الإنتاجية لمحطة شمسية سنوية، نستخدم الصيغة التالية:

$$E = A \times \eta \times H \times AASR \times PR$$

حيث:

(E) الإنتاج السنوي للطاقة (كيلووات ساعة)

(A) مساحة الألواح الشمسية (متر مربع)

(η) كفاءة الألواح الشمسية (حوالي 18% للألواح القياسية، وقد تصل إلى 22% للألواح العالية الكفاءة).

(AASR) متوسط الإشعاع الشمسي السنوي (Average Annual Solar Radiation) للموقع (كيلووات ساعة/متر مربع).

(PR) نسبة الأداء (AASR)، التي تأخذ في الحسبان الخسائر المتوقعة مثل الغبار والتظليل. عادةً تكون بين 0.75 و0.85.

مثال:

إذا كنا نريد بناء محطة بقدرة 1 ميجاوات، يمكننا حساب الإنتاج السنوي المتوقع كالتالي:

القدرة التصميمية: 1 ميجاوات (أي 1000 كيلووات).

الإشعاع السنوي: 2000 كيلووات ساعة/متر مربع.

كفاءة الألواح: 18% (أي 0.18).

نسبة الأداء: 0.80.

إذن الإنتاج السنوي المتوقع يكون:

$$E = 1000 \times 0.18 \times 2000 \times 0.80 = \underline{288,000} \text{ كيلوواط ساعة}$$

4.4 التكلفة الرأسمالية والتشغيلية: (Capital and Operational Costs)

4.4.1 التكلفة الرأسمالية: (Capital Costs)

تكلفة الألواح الشمسية: متوسط التكلفة الحالية حوالي 0.3 دولار لكل واط للقدرة المركبة.

تكلفة الأنظمة الكهربائية والهياكل: حوالي 0.1 دولار لكل واط.

تكلفة التركيب والنقل والعمالة: تتراوح بين 0.1 و 0.15 دولار لكل واط.

4.4.2 المصاريف التشغيلية السنوية: (Annual Operational Expenses)

الصيانة الدورية: حوالي 1-2% من إجمالي التكلفة.

التنظيف: خاصة في المناطق التي بها كثافة غبار عالية، يتطلب تنظيف دوري.

تكاليف التأمين والضمانات.

مثال: لمحطة بقدرة 1 ميغاواط، تقدير التكلفة الإجمالية يكون تقريباً 500,000 - 700,000 دولار، مع تكاليف تشغيلية سنوية تتراوح بين 10,000 و 20,000 دولار.

4.5 تحليل العوائد المالية: (Financial Returns Analysis)

تسعير الكهرباء: إذا تم بيع الكهرباء المولدة لشبكة الكهرباء الوطنية أو لشركات خاصة، فإن تحديد تسعيرة معقولة (على سبيل المثال، 0.1 دولار/كيلوواط ساعة) يمكن أن يضمن عائداً استثمارياً جيداً.

الإنتاج السنوي المتوقع: بناءً على مثال الإنتاجية السابقة، إذا تم بيع الكهرباء بمعدل 0.1 دولار/كيلوواط ساعة، فإن العائد السنوي سيكون:

$$\text{العائد السنوي} = 288,000 \{ \text{كيلوواط ساعة} \} \times 0.1 \{ \text{دولار} \} = \underline{28,800} \{ \text{دولار} \}$$

فترة استرداد التكلفة الرأسمالية: يمكن تقدير فترة استرداد التكلفة بقسمة التكلفة الرأسمالية على العوائد السنوية. بناءً على المثال السابق، إذا كانت التكلفة الإجمالية حوالي 600,000 دولار، فإن فترة الاسترداد تكون على النحو التالي:

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{600,000}{28,800} \approx \underline{20.8} \{ \text{سنة} \}$$

العائد على الاستثمار: بناءً على التكلفة الأولية العالية نسبياً، يمكن للعائد أن يكون طويل الأجل ولكنه مستدام خاصةً في ظل انخفاض التكاليف التشغيلية.

4.6 الدراسات البيئية والاجتماعية: (Environmental and Social Studies)

تقييم الأثر البيئي: يشمل دراسة التأثير على النظام البيئي المحيط، والتأثيرات المحتملة على الحياة البرية، وكذلك على السكان المحليين.

الدراسات الاجتماعية: خاصةً إذا كان هناك سكان يعيشون بالقرب من الموقع المقترح، يمكن أن تشمل خطط التواصل مع المجتمع وتقديم حوافز لهم.

4.7 اختيار التقنيات والمعدات: (Selection of Technologies and Equipment)

نوع الألواح الشمسية: ألواح السيليكون البلوري توفر كفاءة عالية، بينما الألواح الرقيقة أقل تكلفة ولكن أقل كفاءة.

أنظمة التتبع: يمكن أن تزيد من إنتاجية الطاقة، لكن تكلفتها أعلى وتتطلب صيانة أكثر.

بطاريات التخزين: في حال كان هناك حاجة لتخزين الطاقة لاستخدامها ليلاً، يجب أخذ تكلفة البطاريات وتقدير الحاجة لها.

4.8 المعايير والمتطلبات القانونية: (Legal Standards and Requirement)

الحصول على التراخيص اللازمة من الجهات المختصة في السودان، مثل وزارة الطاقة والموارد المعدنية. ضمان توافق المشروع مع قوانين البيئة والتخطيط العمراني.

4.9 نموذج للدراسة المالية النهائية: (Model for the Final Financial Study)

العائد المتوقع: 28,800 دولار سنوياً، فترة الاسترداد: 21 سنة تقريباً.

4.10 الدراسة المالية لمشروع محطة طاقة شمسية بقدرة 2500 ميغاواط في السودان: (Financial Study of a 2500-Megawatt Solar Power Plant Project in Sudan)

4.10.1 التكلفة الإجمالية للمشروع: (The Total Cost of the Project)

التكاليف موزعة كالتالي:

1/ العوائد المالية السنوية: (Annual Financial Returns)

إنتاج الطاقة السنوي المتوقع: (Expected Annual Energy Production)

محطة بقدرة 2500 ميغاواط تنتج حوالي 5-6 تيراواط/ساعة سنويًا (بناءً على الإشعاع الشمسي في السودان).

سعر بيع الكهرباء: (Electricity Selling Price)

يتم تحديد السعر بناءً على الفئات:

1. سعر للمواطنين: 0.05 دولار/كيلوواط ساعة.
2. سعر للشركات الصناعية والتجارية: 0.08 دولار/كيلوواط ساعة.
3. متوسط سعر البيع العام: 0.065 دولار/كيلوواط ساعة (تقدير وسطي).

الإيرادات السنوية: (Annual Revenues)

$$5.5 \text{ {تيراواط/ساعة}} \times 0.065 \text{ {دولار/كيلوواط/ساعة}} = 357.5 \text{ {مليون دولار سنويًا}}$$

2/ التكاليف التشغيلية السنوية: (Annual Operating Costs)

تشمل الصيانة، استبدال المعدات (مثل المحولات)، وإدارة المحطة.

التكاليف التشغيلية تقدر بحوالي 1-2% من التكلفة الإجمالية للمشروع سنويًا:

$$2500 \text{ {مليون دولار}} \times 1.5\% = 37.5 \text{ {مليون دولار سنويًا}}$$

3/ الربح السنوي الصافي: (Net Annual Profit)

الربح الصافي = الإيرادات السنوية - التكاليف التشغيلية

$$357.5 \text{ {مليون دولار}} - 37.5 \text{ {مليون دولار}} = 320 \text{ {مليون دولار سنويًا}}$$

4/ فترة استرداد التكلفة: (Payback Period)

فترة الاسترداد = التكلفة الإجمالية ÷ الربح السنوي الصافي

$$2500 \text{ {مليون دولار}} / 320 \text{ {مليون دولار/سنة}} = 7.8125 \text{ {سنوات}}$$

5/ العائد طويل الأمد: (Long-Term Return)

العمر الافتراضي للمحطة: 25 عامًا.

صافي الأرباح خلال 25 عامًا:

$$320 \text{ {مليون دولار/سنة}} \times 25 \text{ {سنة}} = 8000 \text{ {مليون دولار (8 مليار دولار)}}$$

6/ سعر الكهرباء للسكان والشركات: (Electricity Price for Residents and Businesses)

لجعل المشروع مستدامًا وملائمًا للاقتصاد السوداني:

سعر الكهرباء للسكان: 0.05 دولار/كيلوواط ساعة (مدعوم جزئيًا).

سعر الشركات: 0.08 دولار/كيلوواط ساعة (لزيادة الإيرادات).

يمكن تخصيص جزء من الأرباح لدعم أسعار الكهرباء للمناطق الريفية أو المشاريع التنموية.

7/ السيناريوهات الإيجابية: (Positive Scenarios)

في حال زيادة الطلب على الكهرباء، يمكن بيع الكهرباء إلى دول الجوار بأسعار أعلى، مما يقلل فترة الاسترداد إلى أقل من 7 سنوات.

4.11 مقارنة بين الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة الأخرى من حيث الكفاءة الإنتاجية والمالية: (Comparisons between Solar Energy and Other Renewable Energies in Terms of Production Efficiency and Financial Aspects)

4.11.1 الكفاءة الإنتاجية: (Productive Efficiency)

الطاقة الشمسية: تعتمد كفاءة الطاقة الشمسية على عدة عوامل مثل الموقع الجغرافي، الزمان، والموسم. في المناطق المشمسة، يمكن أن تتراوح كفاءة الأنظمة الشمسية من 15% إلى 22% في أفضل الحالات. حيث تستهلك الطاقة الشمسية مساحة كبيرة لتحقيق كفاءة إنتاجية مرتفعة.

الطاقة الريحية: كفاءتها تعتمد على سرعة الرياح وارتفاع التوربينات. بشكل عام، تتراوح كفاءة تحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية بين 35% و45%. وهذا يجعلها واحدة من أكثر التقنيات المتجددة كفاءةً من حيث الإنتاج.

الطاقة الكهرومائية: تعتبر من أعلى مصادر الطاقة المتجددة كفاءةً في تحويل الطاقة إلى كهرباء. تتراوح كفاءتها بين 90% و95%، ولكنها تعتمد على وجود مصادر مياه مناسبة (أنهار، سدود) مما يحد من انتشارها.

الطاقة الحيوية: تتميز هذه الطاقة بقدرتها على توفير طاقة ثابتة على مدار اليوم، ولكن كفاءتها الإنتاجية تعتمد على نوع المواد الخام المستخدم. الكفاءة عادة تتراوح بين 25% و 40%.

4.11.2 الكفاءة المالية: (Financial Efficiency)

الطاقة الشمسية: في السنوات الأخيرة، أصبحت تكلفة تركيب أنظمة الطاقة الشمسية في تراجع مستمر بفضل التحسينات التكنولوجية وزيادة الإنتاج. تكاليف الأنظمة الشمسية تتراوح حسب الموقع والحجم، لكن على المدى الطويل، تعتبر الطاقة الشمسية من أكثر الخيارات المالية جاذبية بفضل تكاليف التشغيل المنخفضة وعدم الحاجة إلى وقود إضافي.

الطاقة الرياحية: تكاليف التوريدات والإنشاءات تتطلب استثماراً أولياً مرتفعاً، لكنها توفر طاقة بكفاءة مالية جيدة على المدى الطويل، خاصة في المناطق ذات الرياح القوية والمستدامة. يمكن أن تكون تكاليف التشغيل منخفضة، مما يجعلها منافسة للطاقة الشمسية في بعض الأماكن.

الطاقة الكهرومائية: تعتبر من بين الأكثر كفاءة مالية من حيث التكلفة الثابتة للإنتاج، لكنها تتطلب استثمارات ضخمة في بناء السدود والبنية التحتية المرتبطة بها. هذه المشاريع تستغرق وقتاً طويلاً وتحتاج إلى دراسة بيئية واسعة.

الطاقة الحيوية: عادة ما تكون تكلفة إنتاج الطاقة الحيوية مرتفعة مقارنةً بالطاقة الشمسية والرياحية بسبب الحاجة إلى جمع وتحويل المواد العضوية. ومع ذلك، تعتبر مناسبة في بعض المناطق حيث يمكن الحصول على الموارد الطبيعية بشكل مستدام وبأسعار منخفضة.

خلاصة: (Summary)

من حيث الكفاءة الإنتاجية: تتصدر الطاقة الكهرومائية، تليها الطاقة الرياحية، ثم الطاقة الشمسية، وأخيراً الطاقة الحيوية.

من حيث الكفاءة المالية: تعتبر الطاقة الشمسية الأكثر تكلفة في البداية، ولكن تكاليف التشغيل المنخفضة تجعلها جذابة على المدى الطويل، تليها الطاقة الرياحية التي قد تكون أكثر جدوى من حيث التكلفة في بعض الأماكن، ثم الطاقة الكهرومائية التي تتطلب استثماراً ضخماً أولاً.

الفصل الخامس

الخلاصة والتوصيات

(Conclusion and Recommendation)

5.1 الخلاصة: (Conclusion)

تواجه دولة السودان أزمة حادة في قطاع الكهرباء، تتسبب في انقطاع التيار الكهربائي لفترات طويلة وتأثيرات سلبية على الحياة اليومية والاقتصاد الوطني. تعود جذور هذه الأزمة إلى مجموعة من العوامل، بما في ذلك نقص التمويل، ضعف البنية التحتية، وتذبذب مصادر الطاقة التقليدية. بالإضافة إلى ذلك، يعاني السودان من تحديات كبيرة في إدارة الموارد الطبيعية واستغلال الطاقة المتجددة بشكل فعال، رغم أن البلاد تمتلك إمكانيات ضخمة في هذا المجال مثل الطاقة الشمسية وطاقة الوقود الحيوي والرياح والطاقة المائية.

في هذا السياق، تم استعراض حلول سريعة لمعالجة أزمة الكهرباء، مثل تحسين إدارة الشبكة الكهربائية وتطوير البنية التحتية، بالإضافة إلى تعزيز التعاون بين القطاعين العام والخاص. كما تم اقتراح استراتيجيات طويلة الأمد للتحويل إلى الطاقة المستدامة، والتي تشمل توسيع استخدام الطاقة المتجددة، الاستثمار في التكنولوجيا الحديثة، وتطبيق سياسات فعالة لجذب الاستثمارات.

بعد عمل دراسة لأنواع الطاقة المستدامة تم اختيار الطاقة الشمسية بما أنها تمثل فرصة كبيرة للاستخلاص نظراً للموارد الشمسية الوفيرة في البلاد وبالتالي تقود تحسين الوضع الكهربائي في السودان.

تعتبر الطاقة الشمسية مصدراً نظيفاً ومستداماً وبالتالي يمكن أن يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري، مما يساهم في تقليل التلوث البيئي. كما أن الاستثمار في تقنيات الطاقة الشمسية يمكن أن يساهم في توفير الكهرباء للمناطق الريفية والنائية التي تعاني من ضعف شبكة الكهرباء الوطنية.

5.2 التوصيات: (Recommendations)

5.2.1 تحسين البنية التحتية للكهرباء: (Improving Electrical Infrastructure)

يجب على الحكومة السودانية العمل على تحديث وصيانة شبكة الكهرباء الحالية، بالإضافة إلى بناء محطات جديدة لضمان تلبية الطلب المتزايد.

5.2.2 تشجيع الاستثمار في قطاع الطاقة المتجددة: (Encouraging Investment in the Renewable Energy Sector)

ينبغي تقديم حوافز للمستثمرين المحليين والدوليين للاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ومصادر الطاقة المتجددة والمستدامة الأخرى. يمكن أن تشمل هذه الحوافز تخفيضات ضريبية أو تسهيلات في الحصول على التراخيص أو إعفاءات جزئية من رسوم الجمارك.

5.2.3 تطوير الكوادر البشرية: (Human Resources Development)

من الضروري الاستثمار في تدريب وتطوير الكوادر في مجال الطاقة المتجددة وإدارة الشبكات الكهربائية الحديثة، لضمان استمرار تحسين الخدمات وكفاءة التشغيل.

5.2.4 إنشاء شراكات فعالة: (Establishing Effective Partnerships)

يتعين على الحكومة السودانية إنشاء شراكات استراتيجية مع القطاع الخاص، بالإضافة إلى التعاون مع المنظمات الدولية، لضمان تحقيق أهداف التنمية المستدامة في مجال الطاقة.

5.2.5 تعزيز البحث والتطوير: (Enhancing Research and Development)

يجب تشجيع البحث العلمي والتطوير في مجال الطاقة المتجددة واستخدام التكنولوجيا الحديثة لتحسين كفاءة الطاقة ومضاعفة إنتاجها.

5.2.6 إعداد خطط طاقة متكاملة: (Preparing Integrated Energy Plans)

ينبغي تطوير خطط وطنية شاملة لإدارة الطاقة تأخذ في الاعتبار التنوع في مصادر الطاقة والاستدامة، مع التركيز على تحقيق أكبر فائدة اقتصادية واجتماعية.

5.2.7 رفع الوعي المجتمعي: (Raising Community Awareness)

من المهم توعية المجتمع بضرورة التحول إلى استخدام الطاقة المتجددة والممارسات المستدامة، مما يساهم في زيادة الطلب على الحلول الخضراء.

بهذه التوصيات، يمكن للسودان أن يتجاوز أزمة الكهرباء الحالية مما يعزز من استدامة القطاع الكهربائي ويقلل من تأثيرات التغير المناخي وينتقل نحو مستقبل طاقي أكثر استدامة وأماناً.

(References and Books)

- [1] Study on Solar Potential in Sudan - Challenges & Implementation Approaches, 2020.
- [2] Mustafa Omer, Abdeen. "Sustainable Energy: Challenges of Implementing New Technologies." Sumerianz Journal of Scientific Research, no. 41 (February 18, 2021): 8–24.
- [3] Abdalla, Sohaib Nasr Mohamed, and Hakan Özcan. "Design and simulation of a 1-GWp solar photovoltaic power station in Sudan." Clean Energy 5, no. 1 (March 1, 2021): 57–78.
- [4] Hassabelgabo Abdelrazig Ibrahim, Dr Salaheldin, and Dr Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal. "SOLAR ENERGY POTENTIAL AND ASSESSMENT OF CSP PLANT ACCOUNTING FOR SUSTAINABILITY IN SUDAN." International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology 5, no. 7 (November 1, 2020): 12–19.
- [5] Farouk, Naeim, Mohand Omer, Samah G. Babiker, and Mohamed O. Sid-Ahmed. "Using Photo Voltage Solar and Light Emitting Diodes to Reduce Energy Consumption: Case Study in Port Sudan City." Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 17, no. 3 (June 15, 2020): 64–73.
- [6] Bafana, Ramzi, and Zain Zulfiqar. "Solar Energy." Thesis, Blekinge Tekniska Högskola, Institutionen för tillämpad signalbehandling, 2014.
- [7] Solar energy. Minneapolis, MN: ABDO Pub. Co., 2013.
- [8] Myers, Daryl R. "Solar Radiation solar radiation for Solar Energy Utilization solar radiation for solar energy utilization." In Solar Energy, 584–607. New York, NY: Springer New York, 2013.

- [9] Capareda, Sergio C. "Solar Energy." In Introduction to Renewable Energy Conversions, 29–62. First edition. | Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2019: CRC Press, 2019.
- [10] Widatalla, Asim M., and Heimo Zinko. "Designing a Photovoltaic Solar Energy System for a Commercial Building. Case Study: Rosa Park Hotel in Khartoum-Sudan." In World Renewable Energy Congress – Sweden, 8–13 May, 2011, Linköping, Sweden. Linköping University Electronic Press, 2011.
- [11] Abuelyamen, Ahmed, and Mohand H. Mohamed. "Techno-Economic Study of Installing 10 MW PV Power Plant in Sudan." In ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2016.
- [12] Elsayed, Hatim I., Ashraf Khadam, and Omer H. Elhassan. "Plans and Challenges of the Renewable Energy in Sudan." In 2019 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE). IEEE, 2019.
- [13] Haukaas, Kenneth L. Solar Energy Partnership Initiative (SEPI). Office of Scientific and Technical Information (OSTI), April 2019.