

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

تخصص إدارة مشاريع

آثار الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية وضعف

أنظمة الطاقة الكهربائية المتصلة دراسة تطبيقية على شركة نيوم

بالمملكة العربية السعودية

إعداد الطالب/

محمد أمين عبدالله الشخص

242000472

إشراف/

أ.د / الفيصل عبد الحميد

أ.د / فايز جراد

العام الدراسي:

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

المقدمة

في العصر الحديث، تواجه أنظمة الطاقة الكهربائية تحديات كبيرة نتيجة للاعتماد المتزايد على مصادر الطاقة المتجددة، خاصةً مع التوسع في تطبيقات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وهذه التحولات تهدف إلى تحسين استدامة الطاقة وتقليل الآثار البيئية الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري، لكنها في الوقت ذاته تثير قضايا تقنية وإدارية تتعلق بموثوقية استمرارية إمدادات الكهرباء وضمان استقرار الشبكات الكهربائية، والطاقة المتجددة، مثل الشمس والرياح، تتميز بتقلباتها العالية في الإنتاج بسبب اعتمادها على الظروف الجوية، مما يعرض أنظمة الطاقة الكهربائية للمخاطر والضغط غير المتوقعة.

ويعتمد النظام الكهربائي التقليدي بشكل رئيسي على مصادر طاقة ثابتة مثل محطات توليد الكهرباء من الوقود الأحفوري، مما يضمن استقرار الشبكة الكهربائية نظرًا لثبات إنتاج هذه المصادر، وعلى عكس ذلك، تُعد الطاقة المتجددة من أكثر مصادر الطاقة تقلبًا، وهو ما يشكل تحديًا للمشغلين لأنظمة الطاقة في التعامل مع التذبذبات في الإنتاج، خاصة في أوقات انخفاض إنتاج الطاقة الشمسية أو الرياح، لذلك، فإن الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة قد يسبب تأثيرات سلبية على استقرار الشبكة الكهربائية إذا لم يتم تكييف الأنظمة المتصلة بشكل فعال مع هذه التحديات (Munawar & Saha, 2024).

تعتبر موثوقية أنظمة الطاقة الكهربائية مفهومًا محوريًا في الدراسات المتعلقة بشبكات الكهرباء، ويقصد بها قدرة الشبكة على توفير الكهرباء بانتظام وبجودة عالية للمستهلكين، ويشمل ذلك القدرة على التعامل مع الأحمال المتغيرة، وضمان استجابة سريعة لحدوث الأعطال أو التذبذبات المفاجئة في إمدادات الطاقة، وعليه، تعد التحديات التي يواجهها النظام الكهربائي في ظل تزايد الاعتماد على الطاقة المتجددة من القضايا الحيوية التي ينبغي تحليلها ودراستها في هذا السياق.

لذلك، تركز هذه الدراسة على تحليل تأثير الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية أنظمة الطاقة الكهربائية المتصلة، مع التركيز بشكل خاص على شركة نيوم في المملكة العربية السعودية، حيث تعتبر نيوم مشروعًا طموحًا يهدف إلى أن يكون نموذجًا عالميًا في مجالات الابتكار والاستدامة، ومنها قطاع الطاقة. وتندرج الطاقة المتجددة ضمن استراتيجيات نيوم الأساسية، إذ تمثل جزءًا رئيسيًا من أهدافها البيئية في مواجهة التحديات العالمية المتعلقة بالتغير المناخي.

علاوة على ذلك، تسعى هذه الدراسة إلى تحديد آثار هذا الاختراق على كفاءة وموثوقية شبكة الطاقة في شركة نيوم، وتقديم توصيات استراتيجية لضمان استمرارية إمدادات الكهرباء مع تحسين التكامل بين الطاقة المتجددة والشبكات الكهربائية.

1.1 مشكلة الدراسة:

تعتبر مشكلة تأثير الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة من القضايا المعقدة التي تواجه قطاع الطاقة في العديد من البلدان، خاصةً في المشاريع الكبرى مثل مشروع نيوم في المملكة العربية السعودية، وعلى الرغم من أن التوجه نحو الطاقة المتجددة يُعد خطوة هامة نحو تحقيق الاستدامة البيئية وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، إلا أن هذا التوجه يطرح تحديات كبيرة على المستوى الفني والإداري، والطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، تتسم بتقلبات في الإنتاج، حيث يعتمد توليد الكهرباء على ظروف جوية متغيرة، مما يؤدي إلى تذبذبات قد تؤثر على استقرار الشبكات الكهربائية، التي تم تصميمها أساسًا للعمل بكفاءة مع مصادر طاقة تقليدية ثابتة.

إن التحول إلى الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة بشكل أكبر، وخاصة في المشروعات الحديثة مثل نيوم، يستدعي استراتيجيات جديدة للتعامل مع هذه التحديات لضمان استقرار الشبكة الكهربائية، وتزايد هذه المصادر قد يسبب تقلبات في إمدادات الكهرباء، مما يؤثر على موثوقية الشبكة وقدرتها على تلبية الطلبات المستمرة، وهذا التحدي يتطلب دراسة دقيقة لآثار هذه التغيرات على النظام الكهربائي،

وتحديد مدى قدرة الشبكات على التكيف مع الزيادة في إنتاج الطاقة المتجددة دون التأثير سلباً على توفير الكهرباء بشكل مستمر وأمن.

بناءً على ذلك، تكمن المشكلة في ضرورة فهم كيف يؤثر هذا الاختراق العالي للطاقة المتجددة على قدرة النظام الكهربائي في نيوم على الحفاظ على استقراره وموثوقيته، وهل يمكن تحسين هذا التوازن بين الاستدامة البيئية واستقرار الشبكة الكهربائية، وأن معرفة كيفية تأثير هذه التغيرات على الأداء الكهربائي يعد أمراً بالغ الأهمية للمضي قدماً في تطوير مشاريع الطاقة المستدامة في المملكة العربية السعودية، وتحديد الحلول التقنية والإدارية التي تضمن استمرارية إمدادات الكهرباء بفعالية وكفاءة.

ومن هنا يمكن بلورة مشكلة البحث الحالي في التساؤل الرئيس التالي:

ما هي آثار الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم بالمملكة العربية السعودية؟

2.1 أهمية الدراسة:

📌 الأهمية العلمية:

تكتسب هذه الدراسة أهمية علمية كبيرة لأنها تركز على تحليل آثار الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية أنظمة الطاقة الكهربائية المتصلة، وهو موضوع لم يحظَ بالكثير من الاهتمام في الأدبيات العلمية العربية، فالطاقة المتجددة، وخاصة الشمسية والرياح، تُعد من المجالات الواعدة التي تساهم في تحسين الاستدامة البيئية وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، ومع ذلك، يواجه هذا التحول تحديات كبيرة تتعلق بتقلبات إنتاج الكهرباء وتأثيرها على استقرار الشبكة الكهربائية،

ومن خلال هذه الدراسة، سيتم تحليل العوامل المؤثرة في موثوقية النظام الكهربائي في مشروع نيوم، وهو أحد المشاريع الرائدة في المملكة العربية السعودية، وستُقدّم الدراسة فهماً معمقاً للأبعاد التقنية والإدارية المرتبطة بتكامل الطاقة المتجددة في الشبكات الكهربائية، كما ستسهم في إثراء الأدبيات الأكاديمية

المتعلقة بالطاقة المتجددة في الدول العربية، وعلاوة على ذلك، ستوفر الدراسة قاعدة بيانات تحليلية يمكن أن تكون مرجعاً مهماً للباحثين والممارسين في مجالات الطاقة المستدامة وإدارة أنظمة الشبكات الكهربائية، مما يمثل إضافة قيمة في هذا المجال، خاصة في ضوء ندرة الكتابات العربية المتخصصة.

❶ الأهمية العملية:

توفر هذه الدراسة أهمية عملية كبيرة للمؤسسات الحكومية والخاصة في المملكة العربية السعودية، وخاصة تلك المعنية بمشاريع الطاقة المتجددة مثل شركة نيوم، حيث تقدم توجيهات عملية لتحسين إدارة الشبكات الكهربائية المتصلة بمصادر الطاقة المتجددة، ومن خلال النتائج المستخلصة، ستساعد الدراسة في تحسين استراتيجيات إدارة أنظمة الطاقة المتجددة وتحقيق التوازن بين الاستدامة البيئية وموثوقية الشبكة الكهربائية، كما ستوفر الدراسة حلولاً عملية للتحديات المتعلقة بتقلبات إنتاج الطاقة، مما يساهم في تطوير سياسات طاقة أكثر مرونة واستدامة. وعلاوة على ذلك، ستسهم الدراسة في تعزيز فهم الجهات الحكومية والمؤسسات المعنية بالقطاع الطاقى للتحديات التي تواجهها الشبكات الكهربائية في ظل الاعتماد المتزايد على مصادر الطاقة المتجددة، مما يمكن أن يؤدي إلى صياغة استراتيجيات دعم وتطوير تتماشى مع أهداف المملكة في تحقيق الاستدامة والتوسع في استخدام الطاقة المتجددة.

3.1 أهداف الدراسة:

إن الهدف الرئيس والمحوري لهذا البحث يتمثل في محاولة التعرف على مدى تأثير الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم بالمملكة العربية السعودية، ويمكن تحديد الأهداف الفرعية للدراسة على النحو الآتي:

1. بيان أثر نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في إنتاج الكهرباء على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة.
2. بيان أثر تقلبات إنتاج الطاقة المتجددة على استقرار إمدادات الكهرباء وجودتها في شبكة نيوم الكهربائية.

3. بيان أثر التكامل بين الطاقة المتجددة والشبكة الكهربائية على قدرة النظام على التعامل مع التذبذبات وضمان استمرارية الكهرباء.
4. بيان أثر العلاقة بين الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة وقدرة الشبكة على الحفاظ على إمدادات كهرباء ثابتة وأمنة للمستهلكين في مشروع نيوم.

4.1 تساؤلات الدراسة:

🔍 التساؤل الرئيسي للدراسة:

ما أثر الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم بالمملكة العربية السعودية؟

ويتفرع من هذا السؤال الرئيس التساؤلات الفرعية الآتية:

1. ما أثر نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في إنتاج الكهرباء على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم؟
2. ما أثر تقلبات إنتاج الطاقة المتجددة على استقرار إمدادات الكهرباء وجودتها في شبكة نيوم الكهربائية؟
3. ما أثر التكامل بين الطاقة المتجددة والشبكة الكهربائية على قدرة النظام على التعامل مع التذبذبات وضمان استمرارية الكهرباء في مشروع نيوم؟
4. ما أثر العلاقة بين الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة وقدرة الشبكة على الحفاظ على إمدادات كهرباء ثابتة وأمنة للمستهلكين في مشروع نيوم؟

5.1 فرضيات الدراسة:

1. الفرضية الرئيسية الأولى:

لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.005$) للاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة بأبعادها (نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في إنتاج الكهرباء، تقلبات إنتاج الطاقة المتجددة، التكامل مع الشبكة الكهربائية) على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم.

وينبثق من هذه الفرضية الفرضيات الفرعية الآتية:

1. لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.005$) لنسبة مساهمة الطاقة المتجددة في إنتاج الكهرباء على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم.

2. لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.005$) لتقلبات إنتاج الطاقة المتجددة على استقرار إمدادات الكهرباء وجودتها في شبكة نيوم الكهربائية.

3. لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.005$) للتكامل بين الطاقة المتجددة والشبكة الكهربائية على قدرة النظام على التعامل مع التذبذبات وضمان استمرارية الكهرباء في مشروع نيوم.

4. لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.005$) للاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على قدرة الشبكة على الحفاظ على إمدادات كهرباء ثابتة وأمنة للمستهلكين في مشروع نيوم.

6.1 الدراسات السابقة:

❖ دراسة Atri, Bera., Andrew, Benson., Tu, Nguyen (2023).

هدفت هذه الدراسة إلى تطوير إطار عمل لتحديد الحجم المطلوب لنظام تخزين الطاقة (ESS) لتحقيق مستوى موثوقية معين في شبكة طاقة تعتمد بشكل كبير على مصادر الطاقة المتجددة (RERs)، حيث تصل نسبة السعة المركبة للطاقة المتجددة إلى 80%، حيث المتغير المستقل هو نسبة الطاقة المتجددة المركبة في النظام وأبعاده تشمل مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة مثل الرياح والطاقة الشمسية

وكذلك مصادر الطاقة التقليدية المستخدمة لدعم الشبكة، أما التابع فهو موثوقية الشبكة الكهربائية وأدائها في تلبية الطلب على الكهرباء بشكل مستمر وموثوق.

اعتمدت منهجية البحث على تطوير منهجية احتمالية باستخدام المحاكاة بمونت كارلو، مما يسمح بتوليد العديد من السيناريوهات التي تشمل انقطاعات في مولدات الطاقة التقليدية وكذلك حالات عدم اليقين المرتبطة بمصادر الطاقة المتجددة، وقد تم استخدام تقنيات تعتمد على البيانات لإدماج عدد كبير من نماذج الطاقة المتجددة المختلفة في إطار العمل الاحتمالي المقترح، وتم إجراء دراسات حالة باستخدام نظام اختبار RTSGMLC لتوضيح المتطلبات اللازمة لنظم التخزين في شبكات الطاقة المستقبلية التي تعتمد بشكل كبير على الطاقة المتجددة.

وتوصلت الدراسة إلى أن الشبكات المستقبلية ذات نسبة عالية من الطاقة المتجددة ستحتاج إلى أنظمة تخزين طاقة كبيرة قادرة على العمل لفترات طويلة للحفاظ على استقرار وموثوقية إمدادات الكهرباء، مما يعكس أهمية الدور الذي تلعبه أنظمة تخزين الطاقة في تعويض التقلبات في إنتاج الطاقة المتجددة وضمان توازن العرض والطلب ،

وأوصت الدراسة بضرورة الاستثمار في أنظمة تخزين الطاقة ذات السعات الكبيرة وذات المدى الطويل كجزء من البنية التحتية لشبكات الطاقة المستقبلية، كما أوصت بوضع سياسات وتشريعات داعمة لتعزيز دور أنظمة تخزين الطاقة في إدارة التحديات المرتبطة بزيادة استخدام مصادر الطاقة المتجددة المتقطع.

❖ دراسة Xiaoguang, Qi., Ying, Ming, Wang., Mingfeng, Yu., Zheng, Wei., Kailin, Zhao., Yu, Chen., Xuan, Xuan, Li. (2022).

هدفت الدراسة إلى تطوير طريقة فعالة لتقييم موثوقية أنظمة الطاقة في ظل ارتفاع استخدام الطاقة المتجددة، حيث تؤدي التقلبات في سرعة الرياح وشدة الضوء إلى تعقيد تقييم الموثوقية، وللتغلب على ذلك، تم استخدام طريقة تجمع بين محاكاة مونت كارلو غير المتتابعة (NMCS) وشبكة الانتشار

العكسي العصبية (BPNN)، حيث المتغير المستقل هو الظروف التشغيلية وتمثل أبعاده في سرعة الرياح وشدة الضوء، أما المتغير التابع هو موثوقية النظام الكهربائي.

اعتمدت الدراسة منهجية تعتمد على محاكاة مونت كارلو غير المتتابعة لحساب مؤشرات الموثوقية في ظل ظروف تشغيل مختلفة، ثم استخدام شبكة الانتشار العكسي العصبية المتعددة لتدريب الشبكة وإنشاء علاقة غير خطية بين الظروف التشغيلية ومؤشرات الموثوقية، حيث تم التحقق من فعالية النموذج باستخدام نظام IEEE-RTS 79، وتم إجراء تحليل الحساسية للتأكد من كفاءة الطريقة.

وتوصلت الدراسة إلى أن الطريقة المقترحة ساهمت بشكل كبير في تقليل الوقت اللازم لتقييم موثوقية أنظمة الطاقة، وحقت دقة عالية في تقدير الموثوقية، كما أظهرت النتائج أن النموذج قادر على التكيف مع التغيرات في الظروف التشغيلية وتقديم نتائج دقيقة، مما يعزز من كفاءة العمليات الحسابية في تقييم موثوقية أنظمة الطاقة مع الارتفاع المتزايد في استخدام الطاقة المتجددة.

وأوصت الدراسة بضرورة توسيع نطاق استخدام الطريقة المقترحة لتشمل أنواعاً مختلفة من أنظمة الطاقة لضمان شمولية التقييم، مع التركيز على دمج نماذج أخرى قد تساهم في تحسين الدقة وتوفير الوقت، كما أشارت إلى أهمية إجراء دراسات مستقبلية حول تطبيق هذه الطريقة على نطاقات أوسع لضمان التكيف مع التغيرات الديناميكية في ظروف تشغيل أنظمة الطاقة.

❖ دراسة Mohammad-Rashid, Salimi., Yuzhong, Gong., Shahabodin, Afrasiabi.,

Xiaodong, Liang., Chi, Yung, Chung. (2022).

دفت الدراسة إلى مراجعة شاملة لدراسات مرونة شبكات الطاقة الكهربائية في مواجهة الأحداث ذات التأثير الكبير والاحتمالية المنخفضة (HILP)، مع التركيز على دور مصادر الطاقة المتجددة (RESS) وتأثيرها على مرونة هذه الشبكات، حيث المتغير المستقل هو مستويات شبكات الطاقة وتشمل أنظمة النقل وأنظمة التوزيع والشبكات الصغيرة، أما المتغير التابع فهو مرونة الشبكات الكهربائية وقدرتها على تحمل الأحداث غير المتوقعة.

استخدمت الدراسة منهجية تحليلية لمراجعة الدراسات المتعلقة بمرونة شبكات الطاقة، مع التركيز على كيفية تأثير مستويات عالية من مصادر الطاقة المتجددة على مرونة الشبكة، وتم تصنيف الأبحاث إلى ثلاثة مستويات، هي: أنظمة النقل، وأنظمة التوزيع، والشبكات الصغيرة، حيث تم فحص التأثيرات السلبية والإيجابية لتلك المصادر على مرونة الشبكة.

وتوصلت الدراسة إلى أن دمج مصادر الطاقة المتجددة يحمل تأثيرات متباينة على مرونة الشبكات الكهربائية، حيث يمكن أن يسهم في تعزيز المرونة في بعض الحالات، ولكنه يمكن أيضًا أن يؤدي إلى تداعيات سلبية تتطلب تدابير احترازية، كما أظهرت الدراسة أن هناك ممارسات متنوعة لتخفيف التأثيرات السلبية لمصادر الطاقة المتجددة على مرونة الشبكات.

وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد استراتيجيات فعالة للتخفيف من الآثار السلبية لمصادر الطاقة المتجددة على مرونة الشبكة، مثل تحسين آليات التخزين وتطوير أنظمة التحكم في الشبكات، كما شددت على أهمية إجراء دراسات مستقبلية للتوسع في استكشاف تأثير مصادر الطاقة المتجددة على مرونة الشبكات في مستويات مختلفة وضمان تكامل أفضل لهذه المصادر ضمن أنظمة الطاقة الحديثة.

❖ دراسة Khelood, A., Mkalaf., Peter, Gibson (2022).

هدفت الدراسة إلى تحديد المخاطر التي قد يتعرض لها المرضى بسبب الفشل المفاجئ للأجهزة الطبية أثناء تقديم الخدمات العلاجية، حيث المتغير المستقل هو الأجهزة الطبية عالية الخطورة، وتشمل جهاز التنفس الاصطناعي، وجهاز الكي الكهربائي، وأجهزة التخدير، وأجهزة BiPAP، وجهاز توليد الأكسجين، وأجهزة الجراحة الكهربائية، أما المتغير التابع فهو سلامة المرضى وتأثير هذا الفشل على سمعة المستشفيات.

اعتمدت الدراسة على منهجية التحليل الإحصائي الكمي، باستخدام الصيانة المعتمدة على المخاطر لتقييم فعالية موثوقية الأجهزة الطبية المختارة ومدى تأثيرها على حياة المرضى، حيث تم اختيار

(6) أجهزة طبية ذات مخاطر عالية من بين (20) جهازًا طبيًا، وركز التحليل على العلاقة بين سياسات الصيانة المستخدمة ومدى تكرار الأعطال وتكاليف الصيانة.

وتوصلت الدراسة إلى أن موثوقية الأجهزة الطبية المختارة انخفضت مع ارتفاع تكاليف الصيانة نتيجة الصيانة الزائدة أو سياسة الصيانة المتبعة، مما يعرض سلامة المرضى للخطر ويؤثر على سمعة المستشفيات، كما أكدت الدراسة على أهمية اعتماد نهج الصيانة المعتمدة على المخاطر للحد من الفشل المفاجئ للأجهزة خلال الخدمة، وتقديم جدول صيانة شامل يتناسب مع الأجزاء المعقدة لهذه الأجهزة.

وأوصت الدراسة بضرورة تبني المستشفيات نهج الصيانة المعتمدة على المخاطر لتقليل احتمالية الفشل المفاجئ وتحسين سلامة المرضى، إلى جانب تطبيق جداول صيانة مرنة تتوافق مع تعقيد الأجهزة الطبية المختلفة، وشددت على أهمية الاستفادة من خبرات الدول الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية (OECD) في تعزيز سلامة المرضى من خلال سياسات صيانة فعالة

❖ دراسة. (2022). José, Calixto, Lopes., Thales, Sousa.

هدفت الدراسة إلى تحليل استقرار الأنظمة الكهربائية في ظل ارتفاع نسبة الدمج بين الطاقة المتجددة والشبكة الكهربائية، حيث المتغير المستقل هو مستوى دمج مصادر الطاقة المتجددة، وبالأخص طاقة الرياح والطاقة الشمسية الكهروضوئية، أما المتغير التابع فهو استقرار النظام الكهروميكانيكي ضمن نظام النقل الكهربائي.

اتبعت الدراسة منهجية التحليل العابر لتقييم التأثيرات التي يمكن أن تحدثها مصادر الطاقة المتجددة على استقرار النظام الكهربائي، وذلك باستخدام نظام النقل WSCC المعدل لتكوين سيناريوهات متنوعة، وتم تقييم هذه السيناريوهات وفقاً لمعايير شبكة الطاقة البرازيلية من أجل استنتاج تأثير مستويات مختلفة من دمج المصادر المتجددة على الاستقرار الكهروميكانيكي.

وتوصلت الدراسة إلى أن دمج مصادر الطاقة المتجددة بشكل كبير قد يؤدي إلى تغيرات في الاستقرار الكهروميكانيكي للنظام الكهربائي، مما يستدعي دراسة تأثيراته بشكل أدق لتجنب مخاطر عدم

الاستقرار، وبيّنت النتائج أن معدلات الاستقرار يمكن أن تختلف باختلاف نسبة التوليد المتجدد ونوع المصدر المستخدم.

وأوصت الدراسة بضرورة إجراء دراسات إضافية لتحديد السيناريوهات الأمثل لدمج مصادر الطاقة المتجددة مع الشبكة الكهربائية، مع التأكيد على تطوير سياسات فعّالة لدمج هذه المصادر ضمن معايير واضحة للحفاظ على استقرار الشبكة، كما شددت على أهمية تحسين معايير شبكات الطاقة للتعامل مع التحديات التي قد تنجم عن زيادة مصادر الطاقة المتجددة.

❖ دراسة (Samson, Kitsao, Mramba., Peter, Musau., Abraham, Nyete) (2024).

هدفت الدراسة إلى تطوير نظام حماية كهربائي يعتمد على تحليل المكونات المستقلة وآلة الدعم الشعاعي للتغلب على التحديات التي تفرضها عمليات دمج الطاقة المتجددة على حماية الشبكة الكهربائية، حيث المتغير المستقل هو مستوى دمج مصادر الطاقة المتجددة، بينما المتغير التابع هو دقة تحديد وتصنيف الأعطال في نظام الحماية.

اعتمدت الدراسة على منهجية المحاكاة، حيث تم اختبار النظام المقترح على خط نقل بطول 180 كيلومتر بجهد 50 كيلوفولت، يحتوي على نسبة عالية من الألواح الشمسية الكهروضوئية، وتمت محاكاة أنواع مختلفة من الأعطال ومستويات مختلفة من الضوضاء في الإشارة ومقاومات الأعطال باستخدام برنامج MATLAB/Simulink، وتمت مقارنة النتائج مع طرق حماية أخرى منشورة في الأدبيات.

وتوصلت الدراسة إلى أن النظام المقترح حقق دقة تتجاوز 99.7% في تحديد موقع الأعطال، ودقة تتراوح بين 99% و100% في تصنيف الأعطال لمستويات مختلفة من نسبة الإشارة إلى الضوضاء، ورغم أن هذه الطريقة ليست بالدقة الكاملة عند التطبيق في أنظمة طاقة تحتوي على نسبة عالية من الطاقة المتجددة، إلا أن الدقة المحققة تفوق الحد الأدنى المطلوب بنسبة 99%.

وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد نظام الحماية المقترح لتحسين موثوقية حماية الشبكات التي تحتوي على نسبة عالية من الطاقة المتجددة، وتطوير أدوات الحماية بما يتماشى مع التحديات التي تفرضها مصادر الطاقة المتجددة

❖ دراسة Zixuan, Huang. (2024).

هدفت الدراسة إلى استكشاف دور دمج مصادر الطاقة المتجددة في مواجهة تغير المناخ، وتحقيق توفير طاقة مستدامة من خلال تعزيز موثوقية أنظمة الطاقة، حيث المتغير المستقل هو سياسات وتقنيات إدارة موثوقية أنظمة الطاقة، أما المتغير التابع فهو استمرارية إمدادات الطاقة وتقليل الانبعاثات الكربونية.

استخدمت الدراسة منهجية تحليلية تعتمد على مراجعة دراسات وطنية ودولية حول تقنيات النمذجة واستراتيجيات الإدارة التي تسهم في تقليل تقلبات الطاقة المتجددة، مع التركيز على تخطيط السعة الاحتياطية، وأنظمة التحكم الذكية، وتقنيات تخزين الطاقة كعناصر أساسية لتحقيق موثوقية عالية لأنظمة الطاقة.

وتوصلت الدراسة إلى أن التخطيط للاحتياجات، وتطوير أنظمة تحكم ذكية، واعتماد تقنيات تخزين الطاقة تسهم في تحسين موثوقية أنظمة الطاقة المتجددة، مما يؤدي إلى تقليل الانبعاثات الكربونية وتحقيق إمدادات طاقة مستقرة، كما بينت دراسات الحالة والتحليلات التجريبية أن المناطق التي اعتمدت هذه الاستراتيجيات قد حققت نتائج إيجابية في مواجهة تحديات دمج الطاقة المتجددة.

وأوصت الدراسة بضرورة استمرار دعم السياسات لتحقيق تقدم تكنولوجي في مجال الطاقة المتجددة، وتعزيز التعاون الدولي لتبادل الخبرات وتحقيق أهداف الطاقة النظيفة، كما أكدت على أهمية البحث المستمر لتطوير استراتيجيات جديدة تسهم في التغلب على تحديات الطاقة المستدامة.

❖ دراسة Priyanka, Chaudhary (2024).

استهدفت الدراسة تقديم مراجعة شاملة لتقنيات التحكم الحديثة في استقرار أنظمة الطاقة، خصوصًا مع التزايد الكبير في اعتماد مصادر الطاقة المتجددة، وتركز الدراسة على المرونة كمتغير مستقل في مواجهة تحديات عدم اليقين واستقرار التردد.

اعتمدت الدراسة منهجًا استقصائيًا لمراجعة الأدبيات السابقة حول مفهوم المرونة في أنظمة الطاقة، مع استعراض لتطور هذا المفهوم وخصائص الأنظمة المرنة، وتم التطرق إلى تأثير مصادر الطاقة المتجددة المتغيرة، وتحليل استقرار النظام كاستقرار الإشارة الصغيرة واستقرار التردد، بالإضافة إلى دراسة طرق قياس المرونة وآليات الإمداد المرنة.

وأظهرت نتائج الدراسة أن زيادة اختراق مصادر الطاقة المتجددة تواجه تحديين رئيسيين، هما التكوين المعقد للتحكم وانخفاض القصور الذاتي، مما يؤدي إلى تأثير سلبي على التحكم في تردد النظام. كما بينت النتائج فعالية الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي كأدوات فعالة للتحكم في استقرار التردد في ظل وجود مصادر طاقة متجددة.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الأبحاث في تقنيات التحكم باستخدام الذكاء الاصطناعي، وتطوير آليات جديدة للقياس والتقييم لضمان استقرار نظام الطاقة، كما دعت إلى مواصلة التعاون بين الباحثين لتبادل الخبرات وتطوير أنظمة طاقة مرنة ومستدامة.

❖ دراسة R., Mishan., Abdelrahman, Abdelkader., M, J, Egan., Mohammed, Benidris (2023).

هدفت الدراسة إلى تحليل تأثير دمج مصادر الطاقة المتجددة، لا سيما الأنظمة الكهروضوئية، على الاستقرار العابر لنظام الطاقة الكهربائية من خلال استخدام مؤشرات مثل وقت الإزالة الحرج والعطالة الكلية، حيث المتغير المستقل هو مستوى اختراق الطاقة الكهروضوئية، أما المتغير التابع فهو الاستقرار العابر للنظام الكهربائي.

اعتمدت الدراسة على منهجية المقارنة من خلال استبدال أحد مولدات النظام الكهربائي الأصلي بمصنع للطاقة الكهروضوئية، وتعديل مستويات اختراق هذه الطاقة لمقارنة الاستقرار العابر مع النظام الأساسي، وتم تقييم المعايير العابرة تحت ظروف اختراق مختلفة، مع التركيز على تأثير العطالة الكلية للنظام في تحسين مؤشرات الاستقرار.

وتوصلت الدراسة إلى أن زيادة اختراق الطاقة الكهروضوئية يؤدي إلى انخفاض العطالة الكلية للنظام، مما يؤثر سلباً على الاستقرار العابر، وأظهرت النتائج أن المعايير العابرة أظهرت حساسية أكبر لتغيرات العطالة مقارنة بالمعايير تحت العابرة، مما يشير إلى ضرورة مراقبة مستويات اختراق الطاقة المتجددة.

وأوصت الدراسة بأهمية إدارة دمج مصادر الطاقة المتجددة، وتطوير استراتيجيات لضمان استقرار النظام الكهربائي، خاصة عند مستويات اختراق عالية للطاقة الكهروضوئية، وضرورة اعتماد سياسات تنظيمية تدعم تحقيق استقرار أفضل لنظام الطاقة.

7.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

اعتمدت هذه الدراسة على مجموعة من النظريات التي تساهم في تفسير وتحليل موضوع الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة وأثرها على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم، وتمثل هذه النظريات فيما يلي:

1- النظرية المعرفية:

تركز هذه النظرية على كيفية اكتساب المعرفة وتنظيمها واستخدامها في سياق دور التكنولوجيا المتجددة وتأثيرها على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة، في هذه الدراسة، تعتمد النظرية المعرفية على فهم كيفية تنظيم وتخزين البيانات والمعلومات المتعلقة بمصادر الطاقة المتجددة، ومدى تأثير ذلك في ضمان استقرار النظام الكهربائي، من خلال هذا المنطلق، تسعى الدراسة إلى فهم كيفية معالجة التذبذبات

في إنتاج الطاقة المتجددة وكيفية استخدام هذه المعرفة في اتخاذ قرارات فاعلة لتحسين موثوقية الشبكة الكهربائية، وسيعتمد الباحث في جمع البيانات على الأساليب الإحصائية مثل الاستبيانات وتحليل البيانات لضمان التوصل إلى إجابات علمية دقيقة، مما يساهم في تحسين عملية اتخاذ القرارات المتعلقة بالتكامل بين الطاقة المتجددة والشبكات الكهربائية.

2- النظرية البنائية:

تعتمد هذه النظرية على فكرة أن المعرفة تُبنى تدريجيًا من خلال التفاعل مع البيئة والمعلومات المتاحة، وفي سياق هذه الدراسة، يعتمد الباحث على مراجع ودراسات سابقة لفهم كيفية تأثير الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على استقرار الشبكات الكهربائية، ومن خلال هذه المنهجية، يقوم الباحث ببناء معرفته الخاصة بناءً على التراكم المعرفي الذي تحققه الدراسات السابقة، والمصادر المتنوعة التي تم الاطلاع عليها مثل الرسائل العلمية، والمقالات المنشورة، والدوريات المحكمة، وتهدف هذه الدراسة إلى إعادة صياغة المفاهيم والأطر النظرية التي تم الاطلاع عليها بحيث تتناسب مع خصائص النظام الكهربائي في شركة نيوم، وبالتالي يمكن تقديم توصيات فاعلة لصانعي القرار في هذا المجال.

من خلال دمج هذه المنطلقات النظرية، تهدف الدراسة إلى فهم أعمق للتحديات التي تواجهها الشبكات الكهربائية التي تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة، وتقديم حلول مستندة إلى المعرفة والمعايير العلمية التي تم تطويرها من خلال المراجع والدراسات السابقة.

8.1 منهج الدراسة:

سوف تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باعتبار أن طبيعة الدراسة وأهدافها ومتغيراتها تقتضي استخدام هذا المنهج، ويُعتبر المنهج الوصفي التحليلي مجموعة من الإجراءات البحثية المتكاملة التي تهدف إلى وصف الظاهرة محل الدراسة، عن طريق جمع الحقائق والبيانات وتصنيفها، ومن ثم معالجتها وتحليلها بشكل كاف ودقيق لاستخلاص دلالاتها، والوصول إلى نتائج وتعميمات تساعد في فهم الظاهرة بشكل علمي ومنهجي.

في هذه الدراسة، سيتم استخدام المنهج الوصفي التحليلي لدراسة أثر الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية أنظمة الطاقة الكهربائية المتصلة في شركة نيوم، وحيث سيتم جمع البيانات من خلال استبيانات موجهة إلى مديري المشاريع والمهندسين المسؤولين في الشركة، وتشمل الأسئلة في الاستبيان قياس تأثير مصادر الطاقة المتجددة على استقرار الشبكة الكهربائية والآثار المحتملة للاعتماد على هذه المصادر في تحسين أو تقليص موثوقية الأنظمة الكهربائية.

لتحليل البيانات الكمية، سيتم استخدام البرامج الإحصائية المتخصصة لتحليل العلاقات بين المتغيرات المستقلة (مثل مصادر الطاقة المتجددة) والمتغير التابع (موثوقية النظام الكهربائي)، مما يساعد في الكشف عن الأنماط والاتجاهات التي تساهم في فاعلية النظام الكهربائي تحت تأثير هذه المصادر، وعلاوة على ذلك، سيتيح التحليل الإحصائي للباحثين تحديد ما إذا كانت هناك علاقات ذات دلالة إحصائية بين هذه المتغيرات.

كما سيتم استخدام المنهج النوعي في هذه الدراسة للاستكشاف التفصيلي من خلال مقابلات مع مديري المشاريع وفرق العمل في نيوم، وذلك لفهم تصوراتهم وتجاربهم فيما يتعلق بتأثير الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على استقرار الشبكة الكهربائية، وستتيح هذه المقابلات الحصول على رؤى عميقة حول التحديات التي قد تواجهها هذه الأنظمة في ظل الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، وكيفية التغلب عليها.

بالإضافة إلى ذلك، سيتم تطبيق دراسة حالة مفصلة لتحليل كيفية تأثير ممارسات تكنولوجيا الطاقة المتجددة في تحسين موثوقية الشبكات الكهربائية في شركة نيوم، وسوف تتم مراجعة الوثائق والتقارير الرسمية ذات الصلة بإدارة الطاقة في الشركة لدراسة الاستراتيجيات المتبعة وتقييم نتائجها، وكما سيتم دراسة الإجراءات التنفيذية التي اتبعتها الشركة لتحسين كفاءة وموثوقية النظام الكهربائي نتيجة لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة.

من خلال استخدام هذه المناهج البحثية المتكاملة، تهدف الدراسة إلى تقديم تحليل شامل للآثار المترتبة على استخدام مصادر الطاقة المتجددة في تحسين أو تقليص موثوقية الشبكات الكهربائية في شركة نيوم.

9.1 مصادر البيانات:

يعتمد البحث على مصدرين أساسيين في جمع البيانات والمعلومات كما يلي:

❖ المصادر الثانوية:

وتتمثل في الكتب والمراجع العربية والأجنبية ذات الصلة بموضوع البحث بالإضافة إلى الاعتماد على الأبحاث والدراسات السابقة والدراسات السابقة ذات العلاقة بالموضوع التي بحثت الإنشائية إلى جانب الدوريات والرسائل الجامعية التي تناولت موضوع الدراسة، لمعرفة الأسس والطرق العلمية السليمة في كتابة الدراسات وكذلك أخذ تصور عام عن آخر المستجدات التي حدثت في موضوعات الدراسة الحالية والتي تتميز بالتغير والتطور المستمر.

❖ المصادر الأولية:

اعتمدت الدراسة على الاستبانة كأداة رئيسية في جمع البيانات من مصادرها والتي تم تصميمها خصيصاً لهذا الغرض على Google Forms وإرسال رابطها إلى مجتمع البحث.

10.1 أدوات الدراسة:

تعرف أداة البحث بأنها "الوسيلة التي تتم بواسطتها عملية جمع البيانات بهدف الإجابة عن تساؤلاته، وسيعتمد الباحثين في جمع البيانات على الاستبانة، والتي تعرف بأنها "صيغة محددة من الفقرات والأسئلة تهدف إلى جمع البيانات من أفراد البحث"

11.1 الأساليب الإحصائية المتبعة

تم استخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) في هذه الدراسة لإجراء التحليل الوصفي واختبار الفرضيات باستخدام الأساليب الإحصائية التالية:

→ الإحصاء الوصفي:

- التكرارات والنسب المئوية: تم استخدامها لتقديم توزيعات التكرار والنسب المئوية لخصائص أفراد العينة وإجاباتهم على استبانة الدراسة.
- الوسط الحسابي: تم استخدامه كمقياس للزعة المركزية لتقدير المتوسط الحسابي لإجابات أفراد العينة على أسئلة الاستبانة.
- الانحراف المعياري: تم استخدامه كمقياس للتشتت لتقدير الانحراف في إجابات أفراد العينة حول المتوسط الحسابي.

→ الإحصاء التحليلي:

- تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression): تم استخدامه لاختبار تأثير مجموعة من المتغيرات المستقلة على المتغير التابع.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Regression): تم استخدامه لاختبار تأثير متغير مستقل على المتغير التابع.
- اختبار التوزيع الطبيعي (Kurtosis Test): تم استخدامه لاختبار مدى انحراف التوزيع عن التوزيع الطبيعي.

12.1 نموذج الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل آثار الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية أنظمة الطاقة الكهربائية المتصلة، وذلك من خلال دراسة تطبيقية على شركة نيوم في المملكة العربية السعودية، وسيتم فحص العلاقة بين الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة ومدى تأثيره على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة، ويعتمد النموذج التالي على المتغيرات وأبعادها كما يلي:

1. المتغيرات:

○ المتغير المستقل: الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة

يشير هذا المتغير إلى نسبة الطاقة المنتجة من مصادر الطاقة المتجددة (مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) التي تُدمج في شبكة الكهرباء المتصلة. يعكس هذا التوسع في استخدام هذه المصادر وتأثيرها على النظام الكهربائي المتصل.

▪ أبعاد المتغير المستقل:

1. نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في إنتاج الكهرباء: نسبة الطاقة المتجددة (شمسية ورياح) من إجمالي إنتاج الكهرباء في النظام الكهربائي.
2. التقلبات في إنتاج الطاقة المتجددة: التغيرات التي تحدث في إنتاج الطاقة بسبب عوامل الطقس والموسمية.
3. التكامل مع الشبكة الكهربائية: قدرة الشبكة الكهربائية على دمج الطاقة المتجددة في النظام وإمكانية استخدام تقنيات مبتكرة لإدارة الشبكة لتسهيل التكامل.

○ المتغير التابع: موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة

يعبر هذا المتغير عن قدرة النظام الكهربائي على توفير إمدادات طاقة مستقرة ومستدامة للمستهلكين مع الحفاظ على جودة الطاقة، حتى مع تقلبات الطاقة المتجددة.

▪ أبعاد المتغير التابع:

1. استقرار إمدادات الكهرباء: قدرة الشبكة على الحفاظ على إمدادات ثابتة من الكهرباء بدون انقطاعات أو مشاكل كبيرة.
2. جودة إمدادات الكهرباء: انتظام الجهد الكهربائي وتوفير الطاقة ضمن المعايير المطلوبة، بما يضمن عدم التأثير على الأجهزة والمعدات.
3. القدرة على التعامل مع التقلبات: قدرة النظام الكهربائي على التكيف مع تقلبات مصادر الطاقة المتجددة وضمان استقرار الشبكة من خلال استخدام تقنيات مثل التخزين أو التحكم في الأحمال.

13.1 حدود الدراسة:

- الحدود الزمانية: تركز الدراسة على بيانات العام 2024 في شركة نيوم، حيث سيتم تحليل تأثير الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة على موثوقية النظام الكهربائي خلال هذه الفترة الزمنية.
- الحدود المكانية: تقتصر الدراسة على شركة نيوم في المملكة العربية السعودية، وهي واحدة من المشاريع الرائدة التي تدمج مصادر الطاقة المتجددة بشكل كبير في نظامها الكهربائي.
- الحدود الموضوعية: تركز الدراسة على تحليل العلاقة بين الاختراق العالي لمصادر الطاقة المتجددة (بأبعادها المختلفة) وتأثيره على موثوقية الأنظمة الكهربائية المتصلة، مع التركيز على تقنيات التكامل والتحكم في التقلبات والقدرة على الحفاظ على جودة واستقرار إمدادات الكهرباء.

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: الاختراق العالي

إن استخدام مصادر الطاقة المتجددة والاستهلاك الحكيم للطاقة أمران حاسمان للتنمية المستدامة لأي اقتصاد: فهما يضمنان تحقيق أهداف أمن إمدادات الطاقة، ويقللان الاعتماد على التغيرات المفاجئة المرتبطة بأسعار النفط، ويساهمان في الحد من اختلال التوازن التجاري ويحفزان خلق فرص عمل جديدة (Onen, 2022).

تلعب مصادر الطاقة المتجددة دورًا رئيسيًا في التحول المستمر للطاقة الخضراء. كما أنها وسيلة لدول الاتحاد الأوروبي لتصبح أقل اعتمادًا على موارد الطاقة المستوردة وعلى اضطرابات سوق الطاقة التي تسبب ارتفاع الأسعار. وهكذا أدت معركة الطاقة الجيوسياسية حتمًا إلى زيادة الطلب على الطاقة النظيفة، حيث نبتعد عن الاعتماد على الوقود الأحفوري والاعتماد على الوقود الروسي المستورد.

إن سوق الكهرباء في البلدان التي هي في بداية انتقالها إلى الطاقة (بما في ذلك بلغاريا) في عملية تحرير تدريجي. أحد التحديات التي تواجهها بلغاريا هو في مجال الاقتصاد المنخفض الكربون. تم تحديد التحول الأخضر للبلاد في خطة التعافي الوطني والمرونة في بلغاريا، والتي يتم تنفيذها حاليًا. وقد أشارت بعض الدراسات إلى أن قطاع الطاقة هو المصدر الأكبر لانبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري على المستوى الوطني، حيث يمثل أكثر من 70% من إجمالي انبعاثات البلاد. وتُعد محطات الطاقة الحرارية التي تعمل بالفحم مسؤولة عما يقرب من نصف انبعاثات القطاع. وسوف تتطلب الجهود المبذولة لإزالة الكربون من الاقتصاد إصلاحًا شاملاً لقطاع الطاقة الوطني، ولكنها ستعني أيضًا حاجة كبيرة للاستثمار. وسوف تكون هناك حاجة إلى وسائل تقنية كافية لتخزين الطاقة من أجل تحقيق أي تقدم وتحقيق الاستدامة طويلة الأجل في التحول في مجال الطاقة، جنبًا إلى جنب مع انخفاض أسعار الكهرباء (Saha, 2023).

ولكي ينجح التحول في مجال الطاقة، يجب مراعاة عوامل مثل تغير المناخ والابتكار في التكنولوجيا وعمليات الأعمال والسياسات ومستويات النمو الاقتصادي الحالية في كل بلد. مع وضع هذه الحقيقة في

الاعتبار، تم التحقيق في تأثير كثافة الطاقة في الصناعة كعامل مهم للحياد الكربوني، ويمكن تحقيق أهداف الكربون باستخدام مصادر الطاقة المتجددة. يتم تقديم الأنشطة والسياسات التي يجب البدء فيها لإدارة عملية التحول من الوقود الأحفوري إلى مصادر الطاقة المتجددة كمصدر للكهرباء من أبريل 2009 إلى يوليو 2021 من خلال تقديم ما يسمى بمؤشر معدل نشر مصادر الطاقة المتجددة. لا توجد دراسة مفصلة بشأن إصلاحات الطاقة اللازمة للانتقال إلى الطاقة النظيفة في الصين، ولا توجد دراسة لبلغاريا. تم ذكر العديد من العوامل الرئيسية: إدخال "أهداف الكربون المزدوج" (ذروة توفير الكربون بحلول عام 2030 والحياد الكربوني بحلول عام 2050)؛ السياسات الإقليمية والوطنية لتعزيز استهلاك الطاقة الخضراء؛ وتطوير الأسواق الفورية والمتوسطة والطويلة الأجل للكهرباء الخضراء. نظرًا لعدم وجود سوق منظم ومتوازن بشكل صحيح بدون تحليل تنبؤي، يمكن هيكلة تحليلنا وبحثنا في الأقسام الرئيسية التالية لتلبية أهداف المقال: 1. نمو الطاقة المتجددة وانبعثات الكربون: وجهة نظر عالمية وإقليمية؛ 2. نماذج وأساليب لبناء تحليل تنبؤي لتوليد الطاقة المتجددة في بلغاريا؛ 3. تحليل ومناقشة النتائج من حيث مدى ملائمة ودقة وتطبيق النموذج المختار. (Alam, 2020)

1.1.2 الاعتبارات الفنية والاقتصادية - البيان العام والنهج

تعتمد تكاليف الكهرباء على تكلفة سعة تخزين الطاقة أكثر من اعتمادها على سعة محطات الطاقة. إن تلبية الطلب على الكهرباء من خلال مصادر بديلة أخرى خلال 5% من الساعات يمكن أن يقلل من تكاليف الكهرباء إلى النصف. يمكن أن تساعد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في إزالة الكربون من عملية توليد الكهرباء، ولكن من أجل تلبية هذا الطلب، هناك حاجة أيضًا إلى تقنيات تخزين الطاقة. هناك أنظمة تجمع بين مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة مع التخزين والتقنيات الأخرى، وعند مقارنة تكاليف الكهرباء الخاصة بها بالحلول البديلة، يُقدر أنه في المناطق ذات الموارد العالية ومجموعات الموارد المثلثي، هناك حاجة إلى سعة تخزين طاقة منخفضة التكلفة (>20 دولارًا أمريكيًا / كيلوواط ساعة) لتوليد الكهرباء الأساسية بشكل فعال من حيث التكلفة وموثوق به. ومع ذلك، عندما تلي التقنيات الأخرى حد الطلب البالغ 5% وحتى مع التخزين الأكثر تكلفة بشكل كبير، لا يزال من الممكن خفض التكاليف إلى النصف (Medina, 2022).

إن مزايا مصادر الطاقة المتجددة أثناء التحول في مجال الطاقة واضحة: استقلال أكبر في مجال الطاقة، وسوق كهرباء أكثر قابلية للتنبؤ والاستدامة، وأسعار أقل وزيادة الأمن بشكل عام للشركات والأسر. نظرًا لأن مشاريع الرياح والطاقة الشمسية من المتوقع أن تكون العمود الفقري للانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة في أوروبا وبالنظر إلى إزالة الكربون على مستوى العالم، فمن المؤكد أن هذين المصدرين للطاقة سيشهدان ارتفاعًا حادًا. وقد لوحظت بداية هذا الاتجاه في تقرير وكالة الطاقة الدولية (IEA) كان لابد أن يبلغ الاستثمار في تقنيات الطاقة منخفضة الكربون حوالي 500 مليار دولار أمريكي سنويًا بحلول عام 2020 ثم سيتضاعف مرة أخرى إلى تريليون دولار أمريكي بحلول عام 2030. (Kaushik, 2022).

ولكي تتمكن أوروبا من تلبية أهدافها لسيناريو 1.5 درجة مئوية، ستكون هناك حاجة إلى تحول كبير في تصميم سوق الكهرباء. بالإضافة إلى ذلك، هناك أيضًا بعض الآثار المالية - استثمارات بقيمة 5.7 تريليون دولار أمريكي سنويًا بحلول عام 2030. ونظرًا لأن قرارات الاستثمار طويلة الأجل ومخاطر الأصول العالقة عالية، فيجب أن تسترشد القرارات بالمنطق الطويل الأجل - حيث يجب أن يصل الاستثمار التراكمي في التحول في مجال الطاقة إلى أكثر من 115 تريليون دولار أمريكي بحلول عام 2050. وتشير تقديرات توقعات التحول العالمي في مجال الطاقة إلى أنه ينبغي إعادة توجيه 0.7 تريليون دولار أمريكي من الاستثمارات السنوية في الوقود الأحفوري إلى تقنيات التحول في مجال الطاقة. ورغم أن قدرًا كبيرًا من رأس المال الإضافي من المتوقع أن يأتي من القطاع الخاص، فإن مضاعفة التمويل العام ستكون ضرورية أيضًا من أجل تسريع عملية التمويل الخاص وخلق بيئة مواتية للتحول الذي يحقق فوائد اجتماعية واقتصادية مثالية. (Ullah, 2021)

الفترة من 2022 إلى 2027 هي فترة انتقال الطاقة للعديد من البلدان، ووفقًا لتوقعات وكالة الطاقة الدولية، سيتعين تشغيل حوالي 1500 جيغاوات من الطاقة الشمسية وأكثر من 570 جيغاوات من قدرات طاقة الرياح البرية الجديدة. وبالتالي ستكون مصادر الطاقة المتجددة من الرياح والطاقة الشمسية مسؤولة عن 20٪ من توليد الكهرباء على مستوى العالم. يرجع النمو البطيء لمحطات طاقة الرياح إلى عملية إصدار التصاريح الطويلة والافتقار إلى التحسينات في البنية التحتية لشبكة النقل. على مستوى العالم، تتزايد القدرة المركبة وعدد مزارع الرياح البحرية، ولكن في أوروبا، ستنخفض حصتها من 50٪ في عام 2021

إلى 30٪ بحلول عام 2027. يمكن تفسير هذه الظاهرة من خلال التحديات العديدة المتعلقة بالسياسة واللوائح والتمويل. لا يزال عدم اليقين السياسي والتنظيمي هو العقبة الرئيسية أمام البلدان التي تشرع حاليًا في تحولاتها في مجال الطاقة. إن توقعات محلي وكالة الطاقة الدولية هي أن الإضافات السنوية لقدرات الطاقة المتجددة بعد عام 2022 ستتراوح بين 350 و400 جيجاوات، حيث ستشكل طاقة الرياح والطاقة الشمسية 85-90٪ من إجمالي القدرة المركبة الجديدة. (Baseer, 2019)

وهناك قضية مهمة أخرى: إن التوسع السريع لصناعات الرياح والطاقة الشمسية على مدى السنوات الخمس المقبلة سيعتمد بشكل كبير على أسعار الوحدات لهياكلها، والتي هي حاليًا أعلى بنسبة 25-30٪ مقارنة بعام 2020. وترتفع أسعار ما يسمى بـ "المواد الحرجة" (الكوبالت والنحاس والنيكل والليثيوم والأتربة النادرة والنيوديميوم)، ولكن نظرًا لعدم استقرار سوقها، ستكون هناك حاجة إلى استراتيجيات للتخفيف من الاعتماد على المواد الحرجة. (Salgi, 2008)

يمكن رؤية الاتجاهات في الحصة السنوية لقدرات الطاقة المتجددة. الاستنتاج العام الذي يمكن استخلاصه هو أن نمو قدرات مصادر الطاقة المتجددة في أوروبا مقيد بثلاثة تحديات رئيسية: مخططات الدعم/التمويل غير الكافية، وإجراءات الترخيص الطويلة والمعقدة، وبطء وتيرة نقل وتوزيع تحديث الشبكة. إذن كيف يُفترض أن تحقق أوروبا أهداف REPowerEU؟ وفقًا لـ [13، 5]، من أجل تلبية هذه الأهداف بحلول عام 2030، هناك حاجة إلى 592 جيجاوات من الطاقة الشمسية و510 جيجاوات من الطاقة المتجددة، وهو ما يمثل 69٪ من الحصة الإجمالية للطاقة المتجددة. وعلى أساس سنوي، هناك حاجة إلى زيادة قدرها 48 جيجاوات من الطاقة الشمسية و36 جيجاوات من طاقة الرياح. للفترة 2022-2027، يبلغ متوسط النمو المقدر للسعة الصافية 39 جيجاوات من الطاقة الشمسية و17 جيجاوات من طاقة الرياح، بنسبة 54٪ من سعة الطاقة المتجددة. لذلك، نلاحظ تأخرًا بنسبة 15٪.

هناك جانب مهم آخر يجب أخذه في الاعتبار إذا أردنا إحراز تقدم في التحول في مجال الطاقة وهو التحليل الدقيق لاتجاهات تكاليف وأسعار الطاقة المتجددة. وهنا، توجد مشاكل أيضًا: كميات كبيرة من

البيانات المهمة غير كافية وغير متاحة للجمهور، واختلافات في الأساليب والمنهجيات في نمذجة المتغيرات والعوامل المترابطة التي تؤثر على الطاقة المولدة.

في أوروبا، أدى ارتفاع أسعار الوقود وارتفاع أسعار مخصصات ثاني أكسيد الكربون في نظام تداول الانبعاثات الأوروبي (ETS) إلى زيادة حادة في تكلفة توليد الكهرباء. ارتفعت هذه الأسعار من 40 دولارًا أمريكيًا للطن في أوائل عام 2021 إلى 99-114 دولارًا أمريكيًا للطن في أول 45 يومًا من عام 2022. (Onen, 2022)

في أول 45 يومًا من عام 2022، زادت تكلفة الوقود (إلى جانب تصاريح ثاني أكسيد الكربون) لمحطة طاقة تعمل بالفحم فقط بنحو 61-92 دولارًا أمريكيًا لكل ميجاوات في الساعة مقارنة بالعام السابق. تبلغ التكلفة الإجمالية للوقود لمحطة طاقة تعمل بالفحم في أوروبا ما بين 117 و148 دولارًا أمريكيًا لكل ميجاوات في الساعة. والزيادة وحدها أعلى من التكلفة الإجمالية لدورة حياة الكهرباء لمشاريع الطاقة المتجددة البرية الجديدة في أوروبا. وعندما يتعلق الأمر بالغاز الطبيعي، فإن الارتفاع أكثر دراماتيكية، حيث زادت تكلفة وقود الكهرباء المنتجة بواسطة محطة غازية تعمل بالدورة المركبة بمقدار 133-167 دولارًا أمريكيًا لكل ميجاوات في الساعة من أوائل عام 2021 إلى إجمالي 186-220 دولارًا أمريكيًا لكل ميجاوات في الساعة. وحتى إذا انخفضت الأسعار، فإن التأثيرات الاقتصادية السلبية الناجمة عن فترات ارتفاع الأسعار لا تزال حقيقة واقعة. وتكاليف توليد الطاقة المتجددة أقل من محطات الفحم، حتى مع الأخذ في الاعتبار تكلفة التخزين الفني. وانخفض مؤشر أسعار البطاريات لشركة بلومبرج إن إي إف (BNEF) بنسبة 89٪ بين عامي 2010 و2021: من 1200 إلى 132 دولارًا أمريكيًا لكل كيلووات في الساعة. (Alam, 2020).

إن تحقيق التحول في مجال الطاقة بما يتماشى مع سيناريو 1.5 درجة مئوية سيتطلب استثمارات تراكمية تبلغ حوالي 131 تريليون دولار أمريكي بين عامي 2021 و2050. وعلى المدى القصير، من المقدر أن تصل الاستثمارات إلى 5.7 تريليون دولار أمريكي سنويًا بين عامي 2021 و2030، بما في ذلك التحول بمقدار 0.7 تريليون دولار أمريكي سنويًا من الوقود الأحفوري إلى تقنيات التحول في مجال الطاقة. وبين عامي 2031 و2050، ستكون هناك حاجة إلى ما معدله حوالي 3.7 تريليون دولار أمريكي سنويًا. يقدم الجدول 2 تفصيلًا

للاستثمار السنوي المطلوب في الأمد القريب (2021-2030) وفي الأمد البعيد (2031-2050) حسب مسار التكنولوجيا. (Ullah, 2021)

في بداية تحولها في مجال الطاقة، كان لدى بلغاريا مزيج من الطاقة بحصة متزايدة من طاقة الرياح والطاقة الشمسية. ولهذا السبب، هناك حاجة إلى تخزين مناسب للطاقة من الناحيتين التكنولوجية والفنية لتسهيل هذا التحول إلى أنظمة يصعب التنبؤ بمصادرها ولها طبيعة متقطعة. بالنسبة لبلدنا، يبدو أن تخزين الطاقة يشكل عاملاً رئيسياً لتطوير القدرة القصوى، والموازنة، وإزاحة الطاقة، وتنظيم الترددات، وخدمات النظام لنقل الكهرباء للبنية التحتية. (Saha, 2023)

تجاوزت طاقة الرياح والطاقة الشمسية الغاز كمصدر رئيسي للطاقة للاتحاد الأوروبي لأول مرة في العام الماضي، حيث بلغت أكثر من 5/1 من الكهرباء المولدة في عام 2022، وفقاً لتقرير صادر عن خبراء الطاقة. هل اقتربنا من الوقت الذي يمكن فيه استبدال الوقود الأحفوري بالكامل بالطاقة المتجددة؟ لقد غيرت الحرب في أوكرانيا بشكل أساسي مشهد الطاقة في أوروبا، وخاصة زيادة وتسريع التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة وتقليل الاعتماد على الغاز الروسي. وبالتالي، وجدت أحدث مراجعة للكهرباء الأوروبية أن 22٪ من استهلاك الاتحاد الأوروبي تم توليده فقط من الرياح (15٪) والشمس (7٪) في عام 2022 وكان نفس حصة توليد الطاقة النووية تقريباً، في حين انخفضت حصة الغاز الأحفوري إلى 20٪. بالنسبة لعام 2023، من المتوقع أن يستمر نمو الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، في حين سينخفض توليد الغاز الأحفوري بنحو 20٪. (Baseer, 2019)

منذ مارس 2023، كان هناك إطار سياسي جديد لدول الاتحاد الأوروبي في سياق تخزين الكهرباء ومرونة الشبكة. المتطلبات لجميع الأعضاء (بما في ذلك بلغاريا) هي كما يلي: تقييم مرونة شبكات الكهرباء من أجل جعل انتقال الطاقة ممكناً؛ وضع أهداف وطنية إرشادية لتخزين الطاقة من أجل تمويلها بشكل مناسب؛ ووضع وتنفيذ مخططات لدعم خدمات مرونة النظام (اليونان والمجر تنفذان بالفعل مثل هذه التدابير). أثبتت مزايدات الطاقة المتجددة الهجينة، التي يتم تنفيذها بنجاح في ألمانيا، جنباً إلى جنب مع أنظمة التخزين، أنها نهج عملي للتخفيف من المخاطر المرتبطة بالدخول السريع للطاقة المتجددة في

الشبكة: تم تقليل عمليات الإغلاق القسري والقيود المفروضة من توليد الطاقة الخضراء وتم تحسين إرسال الطاقة المتجددة وخدمات النظام الكافية. (Saha, 2023)

في العامين الماضيين، ضاعفت بلغاريا قدرتها المركبة من الطاقة الشمسية إلى 2.2 جيجاوات، ومن المتوقع أن يتم تشغيل 700 ميجاوات أخرى بحلول نهاية عام 2030. توفر خطة REPowerEU المنفذة الكهرباء من الطاقة المتجددة بأقل الأسعار وهذا أمر واقع بالفعل. ومع ذلك، فإن التحدي الأكبر هو الافتقار إلى المبادرات وسعة التخزين الفعلية. بعد هذا الطفرة المطولة في استثمار الطاقة الشمسية (زيادة بنسبة 30٪ على حساب انهيار بنسبة 58٪ على أساس سنوي في توليد الكهرباء من الفحم)، أصبحت حصتها في مزيج الطاقة كبيرة جدًا لدرجة أن ساعات من أشعة الشمس الشديدة أنتجت فوائض من الطاقة وشهدت بلغاريا ظاهرة الأسعار السلبية لأول مرة هذا العام. تتبع أسواق الطاقة منطقتها الطبيعي وتبحث عن أكثر مصادر توليد الطاقة تنافسية من حيث التكلفة - الطاقة المتجددة. في 20 مايو 2023/13-16 ح وفي 21 مايو 2023/10-17 ح، بلغت تكلفة 1 ميغاواط 0.00 ليف بلغاري (أسعار الصرف)، وذلك بسبب انخفاض الطلب والإفراط في الإنتاج. (Onen, 2022)

بالطبع، تصب ديناميكيات السوق في صالح التقنيات الأكثر تنافسية اقتصاديًا. توفر الطاقة المتجددة، من خلال تكاليف رأس المال والتشغيل المتناقصة باستمرار، أدنى أسعار الكهرباء، لكن دمجها في نظام الكهرباء يخلق مشاكل وتحديات إضافية من حيث المرونة والإرسال السليم، حيث لا توجد سعة تخزين كافية مبنية. بالنسبة لعام 2022، وفقًا لمشغل نظام الطاقة (ESO) BG، فإن إجمالي القدرة المركبة لأنظمة التوليد المثبتة هي 13505 ميغاواط، بإجمالي توليد كهرباء يبلغ 50578798 ميغاواط/ساعة. (Kaushik, 2022)

تستخدم الوكالة الدولية للطاقة المتجددة والمختبر الوطني للطاقة المتجددة بعض المؤشرات لتقييم إمكانات مصادر الطاقة المتجددة في بلغاريا، الشكل 6، [20، 21]. تسعى بلغاريا إلى متابعة سياسة طاقة أوروبية متماسكة تتماشى مع حقائقها المناخية والجغرافية والاقتصادية. أحد الأهداف الأكثر إلحاحًا لبلغاريا، والتي تهدف إلى التحول إلى الطاقة الخضراء، هو خطة إزالة الكربون، والتي بموجبها يجب أن

ينخفض متوسط الانبعاثات من إنتاج الطاقة لدينا إلى أقل من 350 كجم / ميجاوات ساعة بحلول عام 2030. حاليًا، تنتج محطات الفحم لدينا انبعاثات تزيد عن 1100 كجم / ميجاوات ساعة، ولكن من خلال مزيج من التقنيات المختلفة، يمكن أن يحدث التحول بسلاسة ودون خلق مخاطر لنظام الطاقة في البلاد. (Medina, 2022)

لأسباب بناء وتكنولوجية، تؤدي محطات طاقة الرياح (WPSs) والطاقة الشمسية (PVPSSs) إلى تفاقم جودة الطاقة عندما يتعلق الأمر بتوصيل الشبكة من خلال التسبب في تقلبات الجهد وزيادة التوافقيات وظهور الوميض (الاهتزاز) والتباين الديناميكي لتوزيع التدفق. كما أن لها تأثيرًا سلبيًا على استقرار النظام أثناء الاضطرابات وأوضاع ما بعد الطوارئ. في الوقت نفسه، تتسبب محطات توليد الطاقة الكهربائية ومحطات توليد الطاقة الحرارية في حدوث تباين متكرر في إنتاج الطاقة من وحدات التشغيل في محطات الطاقة الحرارية، مما يزعج التشغيل الطبيعي للمعدات ومحطات المعالجة ويمكن أن يكون له تأثير بيئي عكسي.

ولنفس الأسباب المذكورة أعلاه، لا يمكن لمصادر الطاقة المتجددة المشاركة في تنظيم التردد الأولي والثانوي ولا يمكن الاعتماد عليها لإدارة الطوارئ لأنظمة الطاقة الكهربائية (EES) واستعادة أنظمة الطاقة الكهربائية بعد الحوادث الشديدة. (Alam, 2020).

من حيث الإدارة في الوقت الفعلي لأنظمة الطاقة الكهربائية، دون تعطيل جداول التبادلات بين الأنظمة مع دول ENTSO-E المجاورة (الشبكة الأوروبية لمشغلي أنظمة النقل)، فإن قدرة نظام الطاقة لدينا على ربط محطات توليد الطاقة الكهربائية ومحطات توليد الطاقة الحرارية محدودة وتحددها سعة التنظيم المتاحة حاليًا ونطاق التنظيم المتاح. ومع ذلك، في الظروف الحالية، يتجاوز المستثمرون الذين لديهم عقود وضمانات مدفوعة هذه السعة بشكل كبير. (Ullah, 2021)

إن ربط مصادر الطاقة المتجددة بأنظمة الطاقة الكهربائية يمثل مشكلة ليس فقط في أنظمة الطاقة الكهربائية البلغارية ولكن أيضًا في جميع البلدان الأخرى. تُبنى محطات الطاقة المتجددة عادة في المناطق التي لا توجد بها شبكة نقل أو حيث يتم تصميم الشبكة الحالية لتوفير أحمال كهربائية صغيرة.

وبموجب اللوائح الحالية، وبسبب الإجراءات البطيئة لشراء الأراضي اللازمة وتغيير استخدامها، فإنه من غير الممكن بناء خطوط كهرباء ومحطات فرعية جديدة بوتيرة بناء محطات الطاقة المتجددة. وفي الوقت نفسه، من الصعب إعادة بناء وتطوير شبكة نقل الكهرباء الحالية قبل بناء خطوط الكهرباء الجديدة اللازمة لأن أمن إمدادات الكهرباء ينخفض ويزداد خطر الحوادث في مناطق كبيرة من البلاد. مع وضع هذه الحقيقة في الاعتبار، يُعتبر الاستحواذ على الأراضي أولوية في بناء خطوط النقل والمحطات الفرعية لتطوير قطاع الطاقة المتجددة. (Kaushik, 2022)

وعلى الرغم من المشاكل والقيود، تحافظ بلغاريا على "حوار الطاقة" مع البلدان المجاورة. تلعب مصادر الطاقة المتجددة أيضًا دورًا في تبادل الطاقة هذا. كما يتم تقديم كثافة الكربون في الصادرات وحصّة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

يقدم ESO بيانات محدثة مع تسمية ديناميكية حيث يمكن رؤية تبادلات الطاقة مع الدول المجاورة ومخططات أحمال الاستهلاك على مدار 24 ساعة واتجاهات أسعار الطاقة. يختلف تكوين مزيج الطاقة في الدولة لكل يوم ووقت. وينطبق نفس الشيء على تبادل الطاقة مع الدول المجاورة. بالنسبة لليوم المرصود، يتضمن مزيج الطاقة النووية كمصدر أساسي ومحطات الفحم كمصدر أساسي ثانوي، وهو المسؤول عن موازنة الطاقة والاستدامة لـ EES. يتم تقديم مصادر الطاقة المتجددة من خلال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح خلال اليوم المرصود. تأخذ محطات تخزين الضخ (المائية) حمولة ذروة بين الساعة 11:00-9:00 و 22:00-18:00. في هذا اليوم، كان هناك تصدير للكهرباء في الغالب إلى رومانيا وصربيا. (Medina, 2022)

وهناك نقطة أخرى مهمة للغاية بالنسبة لبلغاريا وهي استخدام مصادر الطاقة الخاصة بها دون استغلال إمدادات مثل هذه المصادر لأن هذا يؤدي إلى الاعتماد، والذي قد يكون في بعض الحالات مشكلة. ويتمثل المفهوم الأساسي في تحقيق ذلك مع الحد الأدنى من استخدام الغاز الطبيعي، والذي يمكن استبداله خلال فترة الانتقال بالوقود الأحفوري البلغاري (مثل الليجنيت)، وينبغي خفض الكمية المستخدمة تدريجياً بمرور الوقت. (Salgi, 2008)

المشكلة مع مصادر الطاقة المتجددة هي أنها متقطعة، مما يفرض متطلبات التخزين الفعال للطاقة. وتتمتع بلغاريا بمزايا في هذا الصدد، ومن بينها أكبر محطة للطاقة الكهرومائية تعمل بالضخ والتخزين (التخزين بالضخ) في منطقة سد تشيرا. ومن المتوقع أن يتم توسيعها بشكل كبير لتشمل خزائناً آخر.

وتشمل الخيارات الأخرى تخزين الطاقة بالهواء المضغوط، وبالطبع تخزين البطاريات. تعد بلغاريا واحدة من أكبر منتجي بطاريات الرصاص الحمضية. يسمح هذا النوع من البطاريات بإعادة تدوير أكثر من 98٪ من البطارية، في حين لم يتم تقديم مثل هذه التكنولوجيا لبطاريات الليثيوم أيون حتى الآن. (Saha, 2023)

هناك أيضاً إمكانية كبيرة لمجمع الفحم الضخم "ماريتسا" للتحويل وقبول إنتاج الطاقة الخضراء. المنطقة هناك مواتية للغاية، والموقع المشمس مثالي لتوليد الطاقة الخضراء من خلال نشر الخلايا الكهروضوئية. ميزة أخرى هي إمكانية استخدام البنية التحتية الموجودة بالفعل لإنتاج وتخزين الهيدروجين الأخضر أيضاً.

تتمتع بلغاريا بالقدرة على تطوير جميع التقنيات الحالية لتوليد وتخزين الطاقة، فضلاً عن تطوير تقنيات جديدة. والموارد اللازمة لذلك متاحة، وكذلك الاهتمام بالاستثمارات من جانب الشركات إلى جانب الأموال العامة. (Saha, 2023)

وبدعم أكبر من الحكومة، يمكن لبلغاريا أن تصبح مستقلة عن أسواق الطاقة العالمية في غضون عشر سنوات، مع هيمنة مصادر الطاقة المتجددة وتوفير التخزين الضخم للتوازن والقدرة على تصدير الكهرباء. ومع الطاقة الخضراء الرخيصة، فإن فرص التنمية الصناعية والاقتصادية مختلفة تماماً.

من كل ما قيل حتى الآن، يتضح الأهمية الحتمية لإنشاء نماذج دقيقة للتنبؤ بكمية الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة في فترة التحول في مجال الطاقة. وهذا عامل رئيسي لبناء وتشغيل

الشبكات الذكية وتقييم درجة حمل نظام نقل الطاقة بدقة. وأخيرًا وليس آخرًا، من الأهمية بمكان اختيار أنظمة تخزين الكهرباء المناسبة.

2.1.2 وصف المواد والنموذج

يستند هذا البحث إلى بيانات حول الطاقة الكهربائية المنتجة بواسطة الألواح الشمسية ومولدات الرياح في بلغاريا. وفقًا لوكالة تنمية الطاقة المستدامة (الوكالة التنفيذية التابعة لوزارة الطاقة في بلغاريا)، اعتبارًا من عام 2023، يبلغ عدد مواقع الطاقة الشمسية المتجددة 7719، بإجمالي طاقة مركبة تبلغ 2740.3 ميجاوات و193 موقعًا لطاقة الرياح المتجددة بإجمالي طاقة مركبة تبلغ 706.4 ميجاوات. ويشكلون معًا 96.21٪ من المرافق المستخدمة حاليًا لتوليد الكهرباء المتجددة في البلاد. (Alam, 2020)

تتضمن البيانات 137 ملاحظة شهرية تغطي فترة 11 عامًا. تحتوي كل ملاحظة على مجموع الطاقة الكهربائية المنتجة للشهر المحدد.

تعتمد الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة على المصدر، والذي في حالة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، متقطع بطبيعته. ونتيجة لذلك، هناك حاجة لتخزين الطاقة المنتجة واستخدامها عند الحاجة. يمكن أن يساعد التنبؤ بإنتاج الطاقة المتوقع في تحسين القرارات بشأن تصميم مرافق التخزين وشراء معدات التخزين. يمكن استخدام العديد من الطرق للتنبؤ ببيانات السلاسل الزمنية. تعد نماذج الانحدار الذاتي (AR) والمتوسط المتحرك (MA)، بالإضافة إلى نماذج ARMA المدمجة، نهجًا شائعًا وكلاسيكيًا، وهو غير مكلف نسبيًا وسريع التنفيذ من منظور الحوسبة. تميل هذه النماذج إلى إعطاء نتائج جيدة نسبيًا عند استخدامها للتنبؤ قصير المدى لسلاسل زمنية بسيطة. غالبًا ما تُستخدم طريقة بوكس-جينكينز لتحديد الترتيب المناسب لمثل هذه النماذج. علاوة على ذلك، يمكن أيضًا مراعاة الموسمية في البيانات من خلال توسيع النموذج إلى نموذج متوسط متحرك انحداري ذاتي موسمي (SARMA). على الرغم من أن نقص البيانات المناسبة منع عوامل الطقس من أن تُدرج بشكل مباشر كمتغير خارجي في عملية النمذجة، إلا أن تأثيرها على المتغير الأساسي المتوقع يمكن ملاحظته وله تأثير غير مباشر على عملية النمذجة. وعلى هذا الأساس، تم اختيار نموذج من هذا النوع لغرض هذه الدراسة. (Onen, 2022)

إذا فحصنا الرسوم البيانية والرسوم البيانية للقيم المتوسطة، يمكننا أن نرى أنه على الرغم من وجود العديد من القيم المتطرفة، فإن نمطاً موسميًا أخذ في الظهور. بالنسبة لبيانات الطاقة الشمسية، هناك ميل واضح لزيادة الطاقة المنتجة في أشهر الصيف بسبب خصائص موسم الصيف - الأيام الأطول والشمس الأقوى. وعلى العكس من ذلك، يميل إنتاج طاقة توربينات الرياح إلى الانخفاض خلال أشهر الصيف، ولكنه يزيد خلال المواسم الأكثر برودة مثل الربيع والخريف والشتاء بسبب زيادة سرعات الرياح. إن الطبيعة المتذبذبة والمتدهورة ببطء لمعاملات الارتباط الذاتي تدعم هذه الملاحظة بشكل أكبر. يمكن ملاحظة ارتباط إيجابي مرتفع في كل تأخر (أي التأخر 12 و 24 و 36 وما إلى ذلك)، مما يتوافق مع أوجه التشابه في إنتاج الطاقة لكل شهر تقويمي، من يناير إلى ديسمبر، لكل سنة تقويمية. علاوة على ذلك، هناك أيضًا ارتباط سلبي مرتفع في كل نصف فترة (أي فترات التأخر 6 و 18 و 30 وما إلى ذلك)، وهو ما يتوافق مع البيانات التي لها دورية.

3.1.2 الاختلاف الموسمي من الدرجة الأولى

تتطلب نماذج ARMA أن تكون البيانات ثابتة. من خلال قبول حقيقة أن السلاسل موسمية وهذا يعني ضمناً عدم ثباتها، قررنا إجراء اختلاف موسمي للبيانات كخطوة تالية قبل المضي قدماً. الاختلاف الموسمي هو أسلوب يمكن استخدامه في تحليل السلاسل الزمنية لإزالة المكون الموسمي من السلسلة الزمنية. يتم ذلك عن طريق أخذ الفرق بين القيمة الحالية والقيمة المقابلة من الموسم السابق. هذا يقلل مجموعتي البيانات لدينا بمقدار 12 ملاحظة، أو سنة واحدة لكل منهما. ومع ذلك، لا يُتوقع أن تحمل البيانات من فترات بعيدة نفس القدر من الأهمية الإحصائية مثل البيانات من فترات أكثر حداثة. يمكن ملاحظة أن الطبيعة الموسمية للبيانات قد تمت إزالتها إلى حد كبير بسبب الاختلاف الذي تم إجراؤه.

مخططات السلاسل الفرعية الموسمية ومخططات الصناديق بعد أول اختلاف موسمي في الترتيب: (أ) مخطط السلاسل الفرعية الموسمية لبيانات الطاقة الشمسية الشهرية؛ (ب) مخطط الصناديق لبيانات الطاقة الشمسية المجمعة حسب الأشهر؛ (ج) مخطط السلاسل الفرعية الموسمية

لبيانات الرياح الشهرية؛ (د) مخطط الصناديق لبيانات طاقة الرياح المجمعة حسب الأشهر. المصدر: عمل المؤلفين. (Baseer, 2019)

نظرًا لأن الاختلاف الموسمي لا يمكنه ضمان ثبات البيانات، أي أن القيم المرصودة مستقلة عن الوقت ولا يوجد اتجاه، فإننا نختبر مجموعات البيانات المتميزة موسميًا باستخدام اختبارات ديكي فولر المعززة (ADF) وكفياتكوفسكي-فيليبس-شميدت-شين (KPSS).

إن الأسئلة المتعلقة باستخدام مصادر الطاقة المتجددة ذات أهمية كبيرة بالنسبة لجميع البلدان في مختلف أنحاء العالم بسبب ظروف مختلفة. فبالنسبة للدول الصناعية التي تعتمد على استيراد الوقود وموارد الطاقة، فإن أمن الطاقة يشكل أهمية قصوى. وبالنسبة للدول الصناعية التي لديها الكثير من موارد الطاقة، فإن أمن البيئة يشكل الأولوية القصوى. وبالنسبة للدول النامية، فإن هذه هي أسرع طريقة لتحسين الظروف الاجتماعية والمعيشية للسكان. وترتبط الاتجاهات في تطوير الوسائل والتقنيات التقنية لتخزين الطاقة منطقياً بحالة أسواق الطاقة وديناميكيات تشكيل مزيج الطاقة. (Medina, 2022)

إن أنظمة تخزين الطاقة الكهربائية هي واحدة من التقنيات والحلول التقنية الرئيسية لجميع فروع الصناعة والاقتصاد والأسر، بما في ذلك أنظمة نقل وتوزيع الطاقة. وتتمتع أنظمة تخزين الطاقة الكهربائية بالقدرة على معالجة بعض الخصائص الحرجة للكهرباء، مثل التقلبات في الطلب والسعر كل ساعة. وفي المستقبل القريب، ستصبح أنظمة تخزين الطاقة الكهربائية ضرورية في الأسواق الناشئة المرتبطة باستخدام المزيد من الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة من أجل تحقيق انخفاض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وإدخال الشبكات الذكية. إن أنظمة الطاقة المتجددة لها ثلاثة أدوار رئيسية (Saha, 2023) (☺)

أولاً، تعمل أنظمة الطاقة المتجددة على خفض تكلفة الكهرباء التي يتم الحصول عليها خارج أوقات الذروة عندما يكون سعر الكهرباء أقل. ويمكن استخدامها خلال ساعات الذروة بدلاً من شراء الكهرباء بأسعار أعلى.

ثانياً، من أجل تحسين موثوقية إمدادات الكهرباء، تدعم أنظمة الطاقة المتجددة المستهلكين عندما تحدث أعطال في شبكة الكهرباء، على سبيل المثال، بسبب الكوارث الطبيعية. (Onen, 2022)

ثالثاً، تعمل على الحفاظ على جودة الطاقة والتردد والجهد وتحسينها. وفيما يتعلق باحتياجات الأسواق الناشئة، من المتوقع أن تحل الشبكة المشاكل المرتبطة باستخدام كميات كبيرة من الطاقة المتجددة (مثل التقلبات المفردة في الطاقة وعدم اليقين). إن عدم الاستقرار وصعوبة التنبؤ هما سمتان محددتان لأنظمة الطاقة المتجددة. لذلك، فإن نمو أحجام التوليد غير المستقرة من شأنه أن يزيد من خطر الخسائر والحمل الزائد إذا لم يكن هناك تخزين للطاقة.

لتقييم كفاءة أنواع مختلفة من القدرة على توليد الطاقة، تم تقديم مؤشر "تكلفة الكهرباء المستوية" (LCOE). هذا المؤشر هو نسبة جميع خسائر دورة الحياة إلى كمية الطاقة الكهربائية المنتجة خلال دورة الحياة تلك. وهذا يشمل تكاليف رأس المال وتكاليف الوقود وتكاليف التشغيل وتكاليف الصيانة وغير ذلك الكثير. إن تكلفة الطاقة المستوية هي السعر الذي يبرره إنتاج الطاقة الكهربائية من هذا المصدر أو مصدر طاقة آخر التكاليف المرتبطة بهذا الإنتاج. وكلما انخفض سعر تكلفة الطاقة المستوية، كلما كان الاستثمار في هذا المصدر للطاقة أكثر ربحية. (Onen, 2022)

في سبتمبر 2015، أعلن بنك الاستثمار لازارد عن دراسة تفيد بأن تكلفة الطاقة المستوية لتوليد الرياح انخفضت بنسبة 58٪ (تكلفة الطاقة المستوية للرياح = 37-81 دولارًا أمريكيًا / ميغاوات ساعة) وتكلفة الطاقة الشمسية بنسبة 78٪ (تكلفة الطاقة المستوية للشمس = 72-265 دولارًا أمريكيًا / ميغاوات ساعة). تحدد القيم الدنيا والقصوى الدرجة التي يتم بها استخدام هذه التكنولوجيا. حتى في ذلك الوقت، تبين أن طاقة الرياح هي مصدر الطاقة الأكثر فعالية من حيث التكلفة، حيث توفر الكهرباء بسعر 0.05 دولار أمريكي / كيلووات ساعة، مقارنة بالطاقة التي تعمل بالفحم بأسعار متوسطة تتراوح بين 0.045-0.14 دولارًا أمريكيًا / كيلووات ساعة. (Saha, 2023)

عند تقييم تأثير مصادر الطاقة المتجددة، يجب إيلاء اهتمام خاص لما يسمى بمؤشر "تكافؤ الشبكة". إن تكافؤ الشبكة هو توزيع قدرات التوليد حيث تصبح تكلفة الطاقة المولدة لأي مصدر توليد مساوية لسعر الطاقة للمستهلكين. تصل بلدان مختلفة وفئات مختلفة من المستخدمين إلى تكافؤ الشبكة في أوقات مختلفة. وبالنظر إلى أن سعر الطاقة الشمسية في الصين بلغ في عام 2019 ما بين 0.04 و 0.11

دولار أمريكي/كيلووات ساعة، فمن الواضح أن تحقيق تكافؤ الشبكة بالنسبة لمعظم البلدان سيأتي على حساب نمو الطاقة الشمسية لديها (بما في ذلك بلغاريا). ومع ذلك، لا يزال السؤال حول إمكانات طاقة الرياح في بلدنا دون إجابة. لا توجد مبادرات واضحة ولا أبحاث في هذا الاتجاه ولا مرافق تخزين تم بناؤها بالفعل. في الواقع، تمتلك بلغاريا أيضًا احتياطيًا مخفيًا لمحطات طاقة الرياح البحرية. (Kaushik, 2022)

لذلك، مع الأخذ في الاعتبار فائدة نماذج التنبؤ المذكورة أعلاه لتوليد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لبلغاريا خلال السنوات الـ 11.5 الماضية، يأتي هنا السؤال حول ما هي السيناريوهات الأكثر نجاحًا حتى عام 2030. الموسمية والدورية والحصة السائدة للطاقة الشمسية واضحة. لهذا السبب، من أجل ضمان انتقال سلس وفعال للطاقة، نلجأ إلى التخزين الموسمي طويل الأجل. إن سعة تخزين الطاقة المطلوبة لتلبية الطلب على الكهرباء لمدة عام (نظرًا لأن مصدر الكهرباء هو الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح أو مزيج من كليهما) تتراوح بين 10 و 20٪ من إجمالي الاستهلاك السنوي. (Ullah, 2021)

يمكن اعتبار سيناريوهين مناسبين عندما يتعلق الأمر بتقدير نسبة سعة التخزين. وبالتالي، فإن التحليلات التي أجريت لتوليد الطاقة المتجددة في البلاد قابلة للتطبيق للفترة من الآن وحتى عام 2030. بالإضافة إلى الاستنتاجات المفيدة، هناك حاجة إلى البيانات المستندة إلى المؤشرات التالية لتقييم مناسب لسعة التخزين: أ- شهر السنة قيد النظر؛ ب- استهلاك الكهرباء الشهري، جيجاووات ساعة؛ ج- استهلاك الكهرباء الشهري كنسبة مئوية من الاستهلاك السنوي، %؛ د- توليد الكهرباء الشهري من طاقة الرياح، جيجاووات ساعة؛ و- توليد الكهرباء الشهري من طاقة الرياح كنسبة مئوية من الاستهلاك السنوي، %؛ و- توليد الكهرباء الشهري من طاقة الرياح كنسبة مئوية من الاستهلاك السنوي؛ ز- النسبة المئوية لتخزين الكهرباء المطلوبة إذا تم إنتاج الكمية بالكامل من طاقة الرياح، %؛ ح- إنتاج الكهرباء الشهري من الطاقة الشمسية، جيجاووات ساعة؛ ط- إنتاج الكهرباء الشهري من الطاقة الشمسية كنسبة مئوية من الاستهلاك السنوي، %؛ ي- النسبة المئوية لتخزين الكهرباء المطلوبة إذا تم إنتاج الكمية بالكامل من 50% من طاقة الرياح و 50% من الطاقة الشمسية، %؛ ك- النسبة المئوية لتخزين الكهرباء المطلوبة إذا تم إنتاج الكمية بالكامل من الطاقة الشمسية، % (Salgi, 2008).

إن سيناريو التحول في مجال الطاقة الذي سيتم تنفيذه في بلغاريا واضح: فترة قصيرة من النمو السريع مع حصة معينة في نظام الطاقة والبحث عن المزيج الصحيح من مصادر الطاقة المتجددة وأنظمة التخزين، يليه نمو معتدل وتغييرات هيكلية تدريجية في قطاع الطاقة والبنية التحتية، ولكن دون أي إعادة هيكلة أساسية لنظام الطاقة. ونظرًا لأن مصادر الطاقة المتجددة توفر جزءًا أكبر من إجمالي إمدادات الطاقة، فإن تقييم سعة التخزين المطلوبة ضروري لبناء سيناريو تطوير مناسب للطاقة المتجددة من أجل تحقيق أهداف المرحلة الأولى من التحول في مجال الطاقة بحلول عام 2030. ومن الضروري إجراء تحسين مفصل يأخذ في الاعتبار موقع وحالة شبكات النقل والتوزيع للحصول على تقديرات دقيقة للتخزين الأمثل. وعلى الرغم من هذه الحقيقة، فمن الممكن استخدام النماذج الحالية لتوليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة لتقدير سعة التخزين اللازمة لموازنة التغيرات الموسمية بين العرض والطلب. ويمكن أن تتحول مشكلة الإفراط في الإنتاج من مصادر الطاقة المتجددة إلى مشكلة تخزين لأن الإنتاج الزائد له قيمة متغيرة (غالبًا ما يصعب التنبؤ بها) بمرور الوقت. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي الإفراط في إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة، كمصدر للكهرباء الرخيصة، إلى إنتاج الهيدروجين، الذي يجب تخزينه. (Medina, 2022)

بناءً على التوقعات، يمكننا أن نفترض أنه إذا لم يكن هناك زيادة كبيرة في القدرة المركبة للفترة المستقبلية ولم يكن هناك تأثير خطير من العوامل الخارجية غير المتوقعة، فمن المرجح أن تظل كمية الطاقة المنتجة من مصادر الطاقة المتجددة ثابتة أو ربما تزيد. (Alam, 2020)

المبحث الثاني: مفهوم الطاقة وأنواعها

إن الطاقة عنصر ضروري لأداء أي عمل من الأعمال مهما كان بسيطاً، سواء كان عملاً إنتاجياً أو استهلاكياً.

1.2.2 تعريف الطاقة: (Von Meier, 2024)

ورد في المعاجم العلمية أن الطاقة هي القدرة على أداء عمل " شغل . فطاقه قدر عليه. حيث جاء في المعجم الوسيط أن الطاقة هي القدرة - ما يستطيع الإنسان أن يفعله بمشقة - والطوق القدرة وكل شيء مستدير. (Sajadi, 2019)

ورد في محيط المحيط أن الطاقة: القدرة على الشيء ، وقيل هي اسم للفعل طاقة أي يفعله بمشقة فقلوه: لا تحملنا مالا طاقة لنا به، يعني لا قدرة لنا به، بل يصعب علينا .

كما جاء في لسان العرب والطاقت جمع طاقة ، ويقال للكر الذي يصعد به إلى النخلة الطوق . ويجمع اطواقاً ، والطوق والاطاقة القدرة على الشيء والطوق الطاقة وهو في طوقي أي في وسعي. (Voropai, 2020)

فأما الموسوعة العربية الميسرة فقد ورد فيها أن الطاقة في الفيزياء القابلية لعمل شغل وتتضمن الطاقة الحرارية والضوئية والصوتية والكهربائية. (Patrick, 2022)

طاقة الوضع للجسم هي إمكانية الجسم لعمل شغل ويكتسبها نتيجة لوضعه. وطاقة الحركة هي إمكانية الجسم لعمل شغل ويكتسبها نتيجة لحركته. فالطاقة (Ozcanli, 2020)

مصادر: فالطاقة في الاستخدام المعاصر هي كل ما يمكن تحويله بكفاءة إلى حرارة أو حركة للإمداد بالقوى المحركة لتشغيل الآلات ووسائل النقل والتزويد بالحرارة والضوء، ومصادر الطاقة من نوعين رئيسيين متجددة وغير متجددة. (Glavic, 2019)

وقد ذكر كثير من العلماء إن إدراك الطاقة ذاتها أمر صعب لأنها لا تلمس ولا ترى ويمكن تخيلها في عقل الإنسان فقط واعتبار أنها شيء شامل لكل قوى الكون. فالإنسان يعيش في محيط من الطاقة ،

فالحياة تمضي من حولنا دون توقف مدفوعة بتلك الهبة الإلهية الطاقة بكميات ضخمة غير محدودة بحيث لا يستطيع الإنسان أن يستخدم إلا جزء ضئيلاً منها. (Barzkar, 2020)

فالطاقة كلمة نسمعها على كل لسان وكأنها لغز ، مثل كلمات شائعة مألوفة ومتداولة كالروح والزمن والكون والجاذبية والحيوية فلا أحد يستطيع تحديد جوهر هذه الأشياء وماهيتها أو حقيقتها التي علمها خلقت وفي نطاقها استقرت ، فمهما تقدم العلم بخطوات وأشواط ، ومهما زادت وأتسعت معارف الإنسان ومدرجاته تظل الحياة مليئة بالأسرار ، محتضنة خفاياها، وما تظهره لا يبوح بما تبطنه ، وما تكشفه لا يفصح عما تحجبه ، فكأنها تتحدي الناس في كل العصور والأزمان مصداقاً لقوله تعالى: (وَمَا أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا) (Sajadi, 2019)

فالطاقة من الظواهر التي تعرف من الظاهر، ولكن آثارها قائمة ودائمة في أجسامنا وأذهاننا، وفي كل ما على الأرض ويعيش معنا، وكل ما في الكون والعوالم المحيطة بنا. إذ أننا نسمع ونردد في كل يوم تعبيرات مثل الطاقة البيولوجية (الحيوية التي تنمو بها أجسامنا، والطاقة الشمسية التي تمدنا بالضوء والحرارة ، والطاقة الميكانيكية والطاقة الذرية ، أي أن كل شيء في هذه الحياة به طاقة كامنة بداخله وحوله طاقة تحيط به .

فلهذا الدور الذي تلعبه الطاقة بكل مناحي الحياة ، تبرز الأهمية الاستراتيجية للطاقة في العالم ككل ويبرز الصراع بين الشرق والغرب على مصادر الطاقة ، مما يحتم وجود استراتيجية للتنمية الاقتصادية . استراتيجية أساسها انضباط الإنسان وشعوره بالواجب والارتقاء بالسلوك إلى درجة عالية من القيم الدينية الإسلامية. (Barzkar, 2022)

2.2.2 أنواع الطاقة:

يمكن تصنيف أنواع الطاقة المستغلة إلى أربعة أنواع:

1. الطاقة الطبيعية الحركية مثل جريان المياه وحركة الرياح وبخار الماء ، وهي تستخدم في توليد الطاقة

(الكهربائية والميكانيكية)

2. الطاقة العضوية الكيماوية وهي المستخرجة من المصادر العضوية المتحجرة والتي تتولد في الغالب من الاحتراق .

3. الطاقة الطبيعية الكيماوية وهي التي تنجم عن استعمال المواد الطبيعية كاليورانيوم في توليد الطاقة الذرية ومن ثم استغلال الطاقة الذرية في توليد الكهرباء.

4. الطاقة الشمسية ويقصد بها استغلالها في صورة الإشعاعات الضوئية والحرارية لتوليد أشكال أخرى من الطاقة، كالعلاقات الطبيعية الميكانيكية في الرياح ومساقط المياه والمد والجزر أو العلاقات الكيميائية الطبيعية الناتجة من التمثيل الضوئي أو العلاقات الكيميائية العضوية، أي أن الأنواع الثلاثة السابقة الذكر من هذا التصنيف منشؤها يعود للطاقة الشمسية. إذ أن كل العلاقات التي تحدث على الأرض تستمد الطاقة اللازمة لها من الشمس .

فالحديث عن الطاقة يبدأ دائماً بالشمس والتي هي سر الحياة، فأقوى المولدات على الإطلاق هو الشمس والتي تؤثر في كل شيء على الأرض أثراً مباشراً أو غير مباشر، فالشمس كرة ملتهبة قدر قطرها بحوالي 1.4 مليون كيلو متر أي انه يكبر قطر الأرض 110 مرة (قطر الأرض يبلغ حوالي 12.727272 كلم وقدر وزن الشمس 27102 طن بينما وزن الأرض 106 طن وعليه فوزن الشمس يعادل 330 ضعف وزن الأرض. وقدرها درجة حرارة الغلاف الخارجي للشمس بمقدار 6000م، كما أنها تبعد عن الأرض بمقدار 150 مليون كيلو متر. (Sajadi, 2019)

وقد بين العلماء أن نور الشمس عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي يسير بسرعة الضوء ويشغل مساحة من الطيف يتراوح طول موجاتها بين 0.25 ميكرون و 3 ميكرون و 9% من مساحة الطيف تقع في المنطقة ذات الموجات المتناهية

القصر (فوق البنفسجية و 40% يمثل الضوء المنظور الذي نستفيد منه في الرؤية 51% يمثل الأشعة تحت الحمراء ذات الموجات الطويلة.

علماء النبات توصلوا إلى تفسير عملية التمثيل الكلوروفيلي (البناء الضوئي) أو تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية تلك العملية التي تؤمن وجود النبات ومن ثم وجود الحيوان وبوجودها عاش

الإنسان ، كما ثبت أن الإشعاعات ذات الحرارة والموجودة في الطيف المرئي والتي تتركز في الأشعة تحت الحمراء من ضروريات الحياة للنبات والحيوان معاً.(Ozcanli, 2020)

وعلماء الجيولوجيا بينوا أن الطاقة الشمسية المتساقطة على الأرض هي التي صنعت هذا المخزون الطبقي من الفحم والنفط منذ ملايين السنين.(Barzkar, 2020)

وعلماء الفيزياء والفلك تتبعوا حركة الأبخرة المتصاعدة من مياه البحر بفعل حرارة الشمس، بعد أن تدفعها الرياح وتتحول في مناطق معينة تحت ظروف محددة إلى أمطار تتجمع هنا وهناك.(Von Meier, 2024)

وعلماء الطاقة درسوا استخدام هذه الأمطار المتجمعة على قمم الجبال وإمكانية تحويلها إلى طاقة مائية كهربائية .

فلقد تمكن العالم الألماني الفلكي ستيفان بولتسمان (Stephan Boltzmann) من حساب كمية الطاقة المتساقطة من الشمس على سطح الأرض على النحو التالي :-

إذا كانت درجة حرارة الشمس ت درجة مطلقة – (درجة مئوية + (273) - 6273 مطلقة

ط مقدار ثابت - 3.14

س ثابت الإشعاع - 5100 كيلووات لكل كيلو متر مربع ت

ق قطر الشمس - 1.4 مليون كيلومتر .

ط. ق س ت / 100 4 كيلووات حرارة

= 4 × 10 22 كيلووات حرارة.

هذه الطاقة تفقد الكثير أثناء انتقالها من سطح الشمس إلى سطح الأرض الذي يبعد عنها مسافة

150 مليون متر ويتبقى 1.6 × 10 كيلووات حرارة، لو وزعت على سطح الأرض لصار ما تستقبله يعادل 0.75

كيلووات حرارة لكل كيلو متر مربع وعليه ففي العام الواحد تستقبل الأرض كمية من الطاقة تعادل 1.4 ×

10. كيلوات ساعة سنوياً (1) أي 14/000/000/000/000/000/000/000 ك.و س سنوياً. (Voropai, 2020)

(2020)

هذه الكمية من الطاقة تنطلق منها كما أسلفت طاقات أخرى على هيئة رياحوتيارات بحرية ومد وجذر وأمواج وبخر ونباتات تنمو ومخلوقات تعيش.

فهذه الطاقة تحول جزء منها إلى ما يعبر عنها بالطاقة الحفريّة التي نتجت عن البقايا الحيوانية والنباتية المدفونة بين طبقات الأرض وبمضي الزمن تحولت إلى مواد غازية وصلبة وسائلة، كما أن هنالك المصادر غير الحفريّة وهذه تشمل الوقود النووي والمصادر المائية. (Patrick, 2022)

ثم اتجهت الأبحاث العلمية في العقود الأخيرة من القرن العشرين إلى مصادر الطاقة المتجددة أي التي لا يستطيع العقل البشري إدراك زمن انتهائها ، والبعض يطلق عليها الطاقة الجديدة لأن الاهتمام بها بدأ مؤخراً وهي تشمل الطاقة الشمسية المركزة وطاقة الرياح والحقول الحرارية الجوفية في باطن الأرض والعيون ذات المياه الدافئة والبراكين والغازات المنبعثة من تخمير النباتات ووقود الأيدروجين وطاقة البحار من مد جزر وبرك شمسية فلذلك يمكن القول أن الشمس هي مادة على كوكب الأرض فكل الكائنات الحية وفي مقدمتها الإنسان ترتبط ارتباطاً وثيقاً بإيقاع الضوء والحرارة بمعنى أن حياتها جميعاً تعتمد على شمس معتدلة فلا تكون الطاقة الحرارية المسلطة على الأرض شديدة البرودة أو شديدة السخونة كما هو الحال في كواكب أخرى في المجموعة الشمسية كالمريخ والزهرة والمشتري. (Patrick, 2022)

وتختلف كمية الطاقة الشمسية الواصلة من منطقة لأخرى على سطح الأرض تبعاً لتغير فصول السنة وارتفاع المنطقة عن سطح البحر وشفافية الغلاف الجوي في تلك المنطقة كوجود سحب أو أتربة مثلاً

هنالك وحدات مختلفة لقياس الطاقة ، ولكن الشائعة الاستخدام هي:

1. الطاقة الميكانيكية وحدتها : حصان / ساعة فمثلاً طلبات رفع المياه من النيل تعرف قدرتها

بالحصان.

2. الطاقة الكهربائية وحدتها : كيلووات ساعة.

3. الطاقة الحرارية وحدتها : كيلو / سعر. وهناك علاقة رياضية تربط الوحدات الثلاث ببعضها.

1 كيلووات ساعة - 1.34 حصان / ساعة - 862 كيلو سعر والكيلووات ساعة تعادل الشغل الذي يبذله الإنسان عند رفع ثقل مقدراه 36.7 كيلو جراما المسافة مقدارها 10.000 متر . كما تعادل الطاقة الحرارية اللازمة لدفع درجة حرارة 862 لتر من الماء ، درجة مئوية واحدة. (Glavic, 2019)

وفي بعض الأحوال يستخدم " الطن المتري للتعبير عن وزن الوقود الصلب لحجم الغازات والبرميل كوحدة للوقود السائل.

وهناك وحدة الكيلو لتقدير الطاقة وهي تعادل مليون مليون مليون وحدة حرارية بريطانية ولكنها قليلة الاستخدام.

قيممكن تلخيص هذه الوحدات على النحو التالي:

- 1 برميل نفط معادل يومياً يعادل:
- 50 طن نفط معادل سنوياً
- 76 طن فحم معادل سنوياً
- 365 برميل نفط سنوياً
- 57.000 متر مكعب من الغاز الطبيعي سنوياً
- 620.000 كيلووات ساعة سنوياً
- 530.000 كيلو سعر سنوياً
- 2.200.000 كيلو جول سنوياً
- 2.100.000 وحدة حرارية بريطانية سنوياً

كذلك هناك وحدة الثرم Therm والكيوQ

☞ 1 ثرم يعادل 100.000 وحدة حرارية بريطانية.

☞ 1 كيو ثرم يعادل 100.000.000 وحدة حرارية بريطانية.

☞ 1 كيلو ثرم يعادل 17.5 برميل نفط معادل.

☞ 1 كيو يعادل مليون مليون وحدة حرارية بريطانية.

☞ 1 كيو يعادل 175 مليار برميل نفط معادل .

3.2.2 مصادر الطاقة في العالم

إن مصادر الطاقة جميعها تعود في الأصل إلى مصدرين أساسيين هما المصادر الأولية والمصادر الثانوية.

1- فالمصادر الأولية هي التي تستنبط منها الطاقة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة كالوقود الحفري والطاقة النووية ومساقط المياه والطاقة الحرارية في باطن الأرض وطاقة الرياح والأمواج والمد والجزر وطاقة المحيطات.

2- أما المصادر الثانوية فهي تلك التي تعتمد على مصادر الطاقة الأولية بحيث يتم تحويل الطاقة فيها من صورة إلى أخرى ومن أبرز أنواعها الطاقة الكهربائية. (Sajadi, 2019)

تناول الباحثة مصادر الطاقة في العالم أي كيفية الحصول عليها والاستفادة منها. فلما كانت الشمس هي المصدر الرئيس لكل أنواع الطاقة فالبدء يكون بطاقتها.

أولاً : الطاقة الشمسية:

تمد الشمس سطح الأرض والغلاف الجوي للأرض بالحرارة فتسبب حركة الرياح وأمواج البحر وتساهم عن طريق التمثيل الضوئي في إنتاج الوقود والطعام والأكسجين اللازم للحياة على الأرض ، كما تساهم الجاذبية الشمسية بقدر ما في عمليات المد والجزر في البحار، فالشمس تشع طاقتها على نطاق محدود من الموجات الضوئية تتراوح أطوالها ما بين 0.22-3.3 ميكرون الميكرون 1/1000.000 متر) وتنتج هذه الطاقة عند تحول جزء من كتلة الشمس من هيدروجين إلى هيليوم يولد طاقات هائلة تكفي لجعل الشمس في حالة توهج ولمعان لمدة بليون سنة. وينبعث إلى الفضاء يومياً طاقة تقدر بحوالي $10 \times 8.23 \times 10^{25}$.

كيلووات / ساعة ويصل المتوسط اليومي لنصيب الكرة الأرضية من هذه الطاقة إلى $4.141510 \times$ كيلووات / ساعة ونظراً لضخامة هذه الأرقام استحدث العلماء وحدة قياس للتعبير عن شدة الطاقة الشمسية تعرف باسم الثابت الشمسي وهو يساوي 429.2 وحدة حرارية بريطانية في الساعة لكل مسطح مساحته واحد قدم مربع فبعد وصول الطاقة الشمسية إلى أطراف الغلاف الجوي الأرضي فإنها تخترق الغلاف الجوي لتصل إلى سطح الأرض، ونتيجة لهذا الاختراق يتم فقدان 54% من هذه الطاقة، 35% منها نتيجة لانعكاسها وارتدادها للفضاء الخارجي 19% منها نتيجة لامتناسها في الغلاف الجوي ثم انطلاقها مرة أخرى للفضاء الخارجي. ومن أهم المؤثرات التي تتسبب في نقصان الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض طبقة الأوزون وجزيئات الغازات المكونة للهواء وذرات الغبار والأتربة العالقة في الجو وبخار الماء، ورغم أن هذا النقصان في الطاقة الشمسية الواصلة لسطح الأرض فإن كمية هذه الطاقة تقدر بحوالي 18000 ضعف إجمالي الطاقة المستهلكة في العالم والتي أنتجت في كل محطات وأجهزة توليد الكهرباء مجتمعة كما تختلف كمية الطاقة الشمسية الواصلة من منطقة لأخرى تبعاً لتغير فصول السنة وارتفاع المنطقة عن سطح البحر ، فالعقبة الأساسية في الاستفادة من هذه الطاقة أنها تصل إلى الأرض منتشرة على مساحات واسعة ولا بد من التقاطها ثم تركيزها في مساحات ضيقة قبل الاستفادة منها. وهناك طريقتان للاستفادة من الطاقة الشمسية وهما تحويلها إلى طاقة حرارية وإلى طاقة كهربائية. (Von Meier, 2024)

فالحصول على الطاقة الحرارية قد يكون بطريقة مباشرة بالاستفادة من أشعة الشمس للتسخين ، أو بطريقة غير مباشرة بتسخين مادة سائلة ومن ثم استخدام هذه المادة السائلة الحارة لنقل الحرارة من جهة إلى أخرى ولهذا الغرض يمكن استخدام أجهزة التقاط مبسطة على هيئة أطباق مسطحة ، لالتقاط كمية من الطاقة الشمسية تكفي للاستفادة منها في أهم استخدامين في الأغراض المنزلية وهما التدفئة وتسخين المياه أما الطريقة الثانية للاستفادة من الطاقة الشمسية فهي تحويلها إلى طاقة كهربائية عن طريق التوليد الحراري والذي يتلخص في إقامة مسطحات مقعرة تدور حول محورها أثناء ساعات النهار لمتابعة الشمس ، أو إقامة مرايا ثابتة بحيث يمكن تركيز الطاقة الشمسية الساقطة عليها، وفي كلا الحالتين تسخن الطاقة الشمسية المسطحات التي بدورها تسخن الماء فيتحول إلى بخار ماء عند درجة حرارة عالية ومن ثم يستخدم بخار الماء الناتج في تشغيل توربينات ومولدات كهربائية. (Patrick, 2022)

أما التوليد المباشر للكهرباء فيتم باستخدام الخلايا الفولتية الضوئية ويستخدم في هذه الخلايا مواد موصلة للكهرباء مثل السيليكون وبعد سقوط الضوء على السيليكون في الخلية الفولتية تقوم جزئيات الضوء المعروفة باسم الفوتونات باختراق جسم مادة السيليكون فتدفع الفوتونات الالكترونيات خارج مواقعها في التركيبة البلورية للسيليكون. وتكون النتيجة اندفاع مستمر للالكترونيات وسريان تيار كهربائي ، إذ أن التيار الكهربائي ما هو إلا سريان الكترونات .

جاءت الاستفادة الكهربائية من الطاقة الشمسية نتيجة للأبحاث العلمية في الثلاثين سنة الأخيرة من القرن العشرين ، وبعض الإنجازات العلمية مثل غزو الفضاء ونزول الإنسان على سطح القمر ما كانت لتتم لولا الاستفادة من المجمعات الشمسية على سفن الفضاء لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهربائية. (Glavic, 2019)

وازداد الاهتمام من قبل جميع الدول بالطاقة الشمسية ففي عام 1950م أسس الاتحاد السوفيتي المعهد الشمسي الفني في طشقند ، وفي نفس الوقت قامت في الهند نهضة بحثية لاستخدام الطاقة الشمسية وتكاثفت جهود فرنسا واليابان والجزائر وأستراليا وبورما وكندا وسيلان وشيلي والصين ومصر وانجلترا وألمانيا الغربية وإيطاليا ولبنان وجنوب أفريقيا وأسبانيا وسويسرا في هذا المجال الهام ، وظهرت تصميمات مختلفة للغلايات الشمسية وسخانات المياه ومواقد الطهي والمبردات والثلاجات ولوازم لحام المعادن واعذاب المياه (Sajadi, 2019)

وللاستفادة من الطاقة الشمسية يجب تحديد الحزام الدافئ الذي تتوفر فيه كميات ضخمة من الطاقة ويتراوح عدد ساعات سطوع الشمس سنوياً بين 3000—5000 ساعة في هذه المنطقة التي تقع بين خطي عرض 40 شمالاً وجنوباً ويتراوح متوسط الإشعاع الشمسي بين 5 - 6.4 كيلووات / ساعة لكل متر مربع يومياً وفي هذا الحزام تقع معظم الدول النامية الآتية:

واستخدام الطاقة الشمسية في الدول النامية بدأ يعم تدريجياً في المجالات الآتية:

التدفئة ، تكييف الهواء، تسخين الماء، الطهي التبريد ، الطلمبات المائية ، تنقية المياه والتقطير ، منازل النباتات، تجفيف الخشب توليد القوة المحركة توليد الحرارة للأغراض الصناعية. فالمجمعات الشمسية المسطحة Flat Plate Collector أصبحت اليوم في متناول اليد لسهولة تصنيعها ورخص ثمنها.(Barzkar, 2020)

والبرك الشمسية ذات عمق 2 متر أو أكثر تستخدم محلولاً ملحياً لمنع تيارات الحمل ، وتمتاز برخص تكاليفها وكبر السعة الحرارية التخزينية مما يجعل معدل استخدام الطاقة ثابتاً مهما تغيرت ظروف الطاقة الشمسية على مدار اليوم (البرك الشمسية عموماً قليلة الكفاءة عند خطوط عرض أكبر من 40 لكبر زوايا ميل الشمس مما يؤدي إلى زيادة الانعكاس) والمرايا المتحركة التي تستقبل أشعة الشمس في اتجاه عمودي عليها، سهلت الوصول إلى درجات حرارة عالية جداً ، ولكن تكاليف هذه المجمعات ما زالت مرتفعة.(Ozcanli, 2020)

أما الخلايا الضوئية (فوتوفلتيك) وإمكانية دفعها للفضاء الخارجي في محطة تدور في مدار متزامن مع دوران الأرض بالقرب من المنطقة الاستوائية وعلى ارتفاع 35800 كيلو متر من خط الاستواء. حيث تسطع الشمس طول الوقت وبسرعة 1695 كيلو متر / ساعة للحصول على تيار ثابت عال يمكن تحويله في الفضاء إلى طاقة ميكروويف ثم يوجه الإشعاع نحو الأرض ليعاد تحويله في الأرض إلى طاقة كهربائية. بدأ التخطيط لهذه المحطة الفضائية الشمسية في 1968م بدراسة من مؤسسة أرثر ليتل الأمريكية ولكن التكاليف الأولية باهظة ، كما ان بناؤها يستغرق 15 عاماً، لكنها مصدر ضخمة ومستمر للطاقة لاعتمادها على الشمس فقط . التكاليف المبدئية للمحطة الفضائية المرسله والأرضية المستقبلية في حدود 2600 دولار للكيلووات ، لكنه قد ينخفض مستقبلاً مع تطور البحوث العلمية. إذ أن شركة.(Sajadi, 2019)

مانسو شيتا اليابانية أعلنت في نهاية 1983م عن توصلها لطبع الخلايا الشمسية رأساً على قاعدة من الزجاج مما يخفض ثمنها إلى النصف ويزيد كفاءتها 13% بدلا من خلايا بلورات السيليكون التي كفاءتها 10%. أما فوائد هذه التكنولوجيا مهمة إذ أن التجهيزات يمكنها أن تعمل لمدة طويلة قد تتعدى المائة عام ، وصيانتها من البساطة بمكان (Voropai, 2020)

فالملاحظ أن أكبر كمية من الطاقة 6.4 كيلوات ساعة للمتر المربع في اليوم تسقط على أرض العالم العربي كله بل بلا استثناء وعلى كاليفورنيا وبعض مناطق أمريكا الجنوبية وأستراليا إضافة إلى جنوب أفريقيا. (Barzkar, 2022)

هذه الخاصية بأرض الوطن العربي جعلت السودان من تلك الدول التي حباها الله بنعمة الطاقة الشمسية، إذ به شمس ساخنة تجعل هنالك إشعاع لأكثر من عشرة ساعات يومياً على مدار العام وتقدر الطاقة بحوالي 450 وات / ساعة على المتر المربع وإلى الآن لم تثبت الدراسات والنماذج التي أجريت الجدوى الاقتصادية لاستخدام الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء بكميات تجارية. ولذا انحصرت الاستفادة من التوليد الحراري بأشعة الشمس في الاستخدامات الصغيرة التي تكون تكلفة إنشاء التوليد الحراري بها ونقل الوقود لها عالية نسبياً وتكتنفها بعض الصعوبات كما هو الحال في استخدامات الاتصالات وثلجات حفظ الأمصال.

السودان يعتبر بمساحته الشاسعة 2.5 مليون كلم مربع وموقعه الجغرافي بين خطى عرض 4 - 23 م شمال خط الاستواء من المناطق الغنية بالأشعة الشمسية حيث تزيد عدد الساعات فيه عن 3500 ساعة سنوياً. بينما تتراوح كمية الحرارة الساقطة على المتر المربع سنوياً بين 6.6 - 10 جيجول مما يعني أن كمية الطاقة الشمسية الساقطة على السودان لا تقل عن كمية المخزون النظري المتوقع من بترول العالم .

تطبيقات تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية عن طريق الخلايا الضوئية التي يمكن استخدامها مباشرة أو تخزينها في بطاريات حتى يمكن استغلالها في أجهزة الاتصالات السلكية واللاسلكية والإنارة ورفع المياه والتبريد والثلجات.

قامت وزارة الطاقة والتعدين بالسودان بالتعاون مع شركة سولارمان المحدودة في 1996م بإنشاء مشروع إنارة وتشغيل الأجهزة بقاعة الاجتماعات الكبرى بوزارة الطاقة والتعدين. وقد كانت تكلفة المشروع 1.530.000 دينار سوداني. يهدف المشروع لنشر وترويج تقنيات الطاقة الشمسية بالسودان ، وإدخال تقنيات جديدة غير مضررة بالبيئة، والاستفادة من طاقة محلية متوفرة بالبلاد لتعميمها في المناطق النائية عن الشبكة القومية . وهناك مشروع مقترح تحت الدراسة لاستخدام الطاقة الشمسية للإنارة 1000 (ألف)

قرية من قرى السودان على امتداد مساحته الشاسعة مع مطلع القرن الحادي والعشرين. (Von Meier, 2024)

ثانياً: الطاقة البيولوجية (الاحيائية):

إن 0.02% من الطاقة التي تصل الأرض من الشمس تستخدم في عمليات التمثيل الضوئي التي تقوم بها النباتات الخضراء، وهي عملية كيميائية " اندوثرميه تقوم فيها النباتات بتكوين جزيئات المركبات السكرية من اتحاد ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو، والماء الموجود في الأرض وذلك في وجود ضوء الشمس، ويخزن الجلوكوز المتكون على شكل مركبات كربوهيدراتية مثل النشا والسليلوز والسكر في أجزاء مختلفة من النبات. هذه الطاقة الكيميائية المخزنة في المركبات حاول العلماء تحويلها إلى وقود سائل وغازي يمكن استخدامه في محركات الاحتراق الداخلي بدلاً من المركبات البترولية. فالتمثيل الضوئي هو من الطرق الفعالة والهامة في تجميع وتخزين الطاقة الشمسية، كما انه قد لعب دوراً هاماً في تكوين الحياة على سطح الأرض. إذ تستغل الطاقة الشمسية التي يمتصها النبات في اختزال ثاني أكسيد الكربون ليكون المركبات الكربوهيدراتية ومن ثم تخزين الطاقة الشمسية في أجزاء النبات المختلفة من ساق وأوراق وثمار على شكل طاقة كيميائية، هذه الطاقة يمكن استرجاعها بعدة طرق (Patrick, 2022)

1. أن تجفف هذه النباتات ثم تحرق.
2. أن تخمر في معزل عن الهواء باستخدام تكنولوجيات ميكروبيولوجية (تقنية الأحياء الدقيقة مختلفة للحصول على مركبات سائلة وغازية تستخدم كوقود عالي الطاقة مثل كحول الأيثيل والميثيل والأسيتون وغاز الميثان . فلقد طورت تطبيقات حديثة في هذا المجال في السنوات الأخيرة للاستفادة من الكتلة البيولوجية للحصول منها على الوقود السائلة أو الغازي بثلاثة وسائل هي:

■ **الحرق المباشر:** إذ يشكل حرق الكتلة الاحيائية السليلوزية كالأخشاب أكبر مصدر للحصول على الطاقة، ومن ناحية عامة فإن أنواع الكتلة الاحيائية التي تحتوي على اقل قدر من الماء هي انسب هذه الأنواع للحرق وتشمل الأخشاب والمخلفات الزراعية والنفايات الصلبة مثل الورق والكرتون.

■ الهضم اللاهوائي: عند تأكل الفضلات العضوية بواسطة البكتيريا في الهواء الطلق يحدث ما يعرف بالهضم الهوائي وينتج عن ذلك غازات متعددة منها الأمونيا وثاني أكسيد الكربون وبعض المواد الصلبة، ولكن للحصول على مواد ذات محتوى أكبر من الطاقة تجرى عملية الهضم بمعزل عن الهواء وعندئذ يحدث ما يعرف بالهضم اللاهوائي وينتج عن ذلك غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون. وعادة يتراوح تركيز الميثان بين 50 - 80% من إجمالي الغازات الناتجة. والمواد العضوية المناسبة لهذا الغرض تشمل كل من روث الحيوانات والطحالب وعشب البحر. (Sajadi, 2019)

■ التخمير: تهدف هذه العملية إلى تحويل الكتلة الاحيائية إلى كحول الايثيل ايثانول) الذي يمكن استخدامه كوقود بديل لجازولين السيارات، فأثناء عملية التخمير تتفاعل الكائنات الدقيقة مثل الخميرة أو البكتيريا مع المواد العضوية تحت تأثير الإنزيمات لإنتاج الايثانول ضمن منتجات أخرى ثم يستخلص الايثانول كمنتج نقي عن طريق التقطير وانسب المواد العضوية في هذا المجال هي عصير قصب السكر وعصير بنجر السكر وسكر الجلوكوز المستخلص من المواد النشوية كالذرة والقمح .

فالسودان له نصيب كبير في إنتاج هذه الطاقة الاحيائية إذ أن النوع الأول منها الناتج عن طريق الحرق المباشر هو الفحم النباتي وحطب الوقود إذ أن غابات السودان توفر حوالي 70.8% من الموارد الخشبية في ميزان الطاقة القومي كل عام ، كما توفر الموارد غير الخشبية من المخلفات الزراعية والحيوانية حوالي 7.7 % بينما لا تزيد مساهمة الموارد البترولية والكهرباء عن 19.4% و 2.1% على التوالي. وبالنظر إلى التوزيع القطاعي لإمدادات الطاقة من الموارد المختلفة يتضح أن الفحم النباتي يوفر حوالي 84.8% من احتياجات الطاقة للقطاع المنزلي 51.2% في القطاع الصناعي و 35.6% للقطاع التجاري والخدمي و 97.6%. (Glavic, 2019)

أما النوع الثاني من الطاقة الاحيائية وهو طريقة الهضم اللاهوائي التي ينتج عنها غاز الميثان وتعرف لدى علماء الطاقة بالبيوغاز فعند إضافة الماء إلى الفضلات (روث البهائم وفضلات الإنسان بعد وضعها في خزان مغلق به فراغ ذو حجم مناسب في أعلاه، فإن المواد العضوية المعزولة عن الأكسجين تتحلل ويتكون غاز الميثان الذي يتجمع في فراغ الخزان العلوي. وقد شرح علماء الكائنات الدقيقة عملية تكوين الميثان. بأنه عند إحكام غلق الخزان يبدأ التفاعل الكيميائي بواسطة البكتيريا الهوائية التي تموت بعد نفاذ

الأكسجين داخل الخزان، فتبدأ اللاهوائية فيتكون غاز الميثان الذي يتجمع في الفراغ وقد قامت وزارة الطاقة والتعدين باستخدام هذا الغاز لتوليد الطاقة الكهربائية لإدارة كل ثلاجات الوزارة في عام 2000م (Patrick, 2022).

استخدمت هذه الطريقة بنجاح في ألمانيا حيث وصل حجم الخزان لإنتاج غاز الميثان إلى 10.000 متر مكعب وينتج 5000 متر مكعب غاز يومياً تغذي محطة لتوليد الطاقة الكهربائية. (Barzkar, 2020)

كما استخدمت هذه الطريقة في المنازل بالصين منذ 1958م وقد بلغ عدد المنازل التي تستخدم الغاز في الإضاءة والطهي والتدفئة حوالي خمسة مليون في 1979م وتخطط الصين للوصول إلى استخدام الميثان في خمسين مليون منزل بانتهاء عام 2000م.

الجدير بالذكر أن المخلفات تمثل سماداً زراعياً ممتازاً. وهناك أيضاً طاقة البيوماس أي مضغوطات المخلفات الزراعية والتي هي عبارة عن التبن من القمح وقشر الفول وسيقان القطن. فالضغط العالي مع درجة حرارة عالية لهذه المخلفات يكسبها خواصاً فيزيائية جديدة من حيث الحجم وقوة التماسك الذي يؤدي إلى:

- زيادة القيمة الحرارية لها.
- تقليل الحجم مما يسهل عملية الترحيل والتخزين.
- تقليل كمية الدخان المتصاعد مقارنة مع الحرق المباشر مما يقلل من التلوث للبيئة

ومن فوائد هذه المضغوطات أنها توقف الاستنزاف المستمر لخشب الأشجار والقضاء التدريجي على الغابات وحدوث تعرية للأرض وقد اتضح ذلك الاستنزاف المنذر بالخطر من خلال الإحصائية بالجدول التي أوضحت احتياجات الطاقة التي يغطيها الوقود النباتي من حطب وفحم لكل القطاعات.

تقدر طاقة البيوماس على مستوى العالم بحوالي 6-13% من الاحتياجات العالمية للطاقة الكلية ، وهي نسبة يمكن ان تغطي بها حاجة الطاقة لنصف سكان العالم الذين يعيشون في قري الدول النامية.

فالسودان يعتبر من الدول الأفريقية الرائدة في هذا المجال فمنذ الخمسينات تم تأسيس وتشغيل وحدة لضغط سيقان القطن بغرض استخدامه كوقود للقيزانات لتوليد الطاقة الكهربائية لإنارة مجمع إدارة مشروع الجزيرة، ولكن لم يتم التطبيق رغم قيام (Ozcanli, 2020)

البحوث والدراسات في 1983م من قبل وزارة الطاقة والتعدين بالتعاون مع شركة سويدية (سويكو) لعدم وجود التمويل.

في 1982م أقيمت وحدة مضغوطات النهود للاستفادة من قشر الفول ليكون مصدراً للطاقة في قطاع الخدمات والمنازل كبديل لحطب الوقود، فتم تركيب أول ماكينة بقوة واحد طن / ساعة بواسطة برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، تم تركيب ماكينة أخرى في عام 1992م بقوة 2 طن / ساعة. مما أدى للحفاظ على أشجار الصمغ العربي في المنطقة. كما أنشئت وحدة مضغوطات سيقان القطن بود الشافعي بمشروع الجزيرة 1996م لتنتج 20000 طن في العام وهي وحدة لها أهمية كبيرة تعود بمنافع على الاقتصاد القومي من خلال:- (Sajadi, 2019)

له. وقف انتشار مرض الساق الأسود وذلك لخلو المضغوطات من البكتريا الناقلة

- الحفاظ على الغابات.
- تقليل الأمراض الناتجة عن الاستخدام المباشر لسيقان القطن، خاصة أمراض الجهاز التنفسي والعيون.

وهناك أيضاً وحدة مضغوطات البقاس بحلفا الجديدة والتي تم إنشاؤها في 1997م بطاقة قدرها 200 طن في العام

ثالثاً: طاقة النفايات:

يقصد بالنفايات القمامة المتجمعة يومياً من المنازل والأسواق والمحلات التجارية، فمعظم الدول تتجه لحرق النفايات في أفران خاصة مع استخدام وقود مساعد لإتمام عملية الحرق فتصل درجة الحرارة

إلى 1000 م فيتولد عنها بخار يستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية ويستفاد من مخلفات الحريق في صناعة طوب البناء .

رابعاً : طاقة الأيدروجين

يمتاز الأيدروجين بحرارته العالية التي تبلغ 34000 كيلو سعر لكل كيلو جرام أي حوالي 40 كيلوات ساعة حرارة لكل كيلو جرام. وهو يتحول إلى سائل عند درجة حرارة 253 م وعند احتراقه ينتج بخار الماء الذي لا يلوث الجو. ويمكن إنتاجه بكميات كبيرة من الفحم أو النفط أو الغاز الطبيعي أو عن طريق تحليل الماء باستخدام الطاقة الكهربائية وهو سهل النقل والتخزين واستخدام الأيدروجين في جميع التجارب الصاروخية ومنها صاروخ أبوللو الذي كان أول مركبة تحمل رواد فضاء إلى سطح القمر ويخطط العلماء لاستخدام الطاقة الشمسية في إنتاج الأيدروجين من الماء المالح على شواطئ المحيطات والبحار إذ يمكن إقامة محطات عائمة تحتوي على خلايا تستطيع تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية يمكن بواسطتها تحليل ماء البحر إلى عنصريه (الأكسجين والأيدروجين) . ثم ينقل الأيدروجين الناتج بواسطة الأنابيب إلى الشاطئ ويوزع على المدن حيث يمكن تحويله إلى كهرباء بواسطة الخلايا الوقودية. (Barzkar, 2020)

ويعتقد أن الأيدروجين قد يقوم بدور الوقود البديل إذ أنه لا يتسبب في التلوث ويحمل طاقة حرارية عالية، كما يمكن نقله وتخزينه، إضافة إلى أن نقله أرخص من نقل الطاقة الكهربائية إذا تعدت المسافة 500 ميل، أي أكثر اقتصاداً في حالة المسافات الطويلة. (Ozcanli, 2020)

خامساً: الطاقة الحفزية: (الوقود الأحفوري) :

هو من أهم المصادر الأولية للطاقة وهو عبارة عن بقايا كائنات حية (معظمها نباتات متحللة ترسبت على سطح الأرض أو في قاع المستنقعات أو البحار ثم غطتها طبقات متعددة من الرمال والصخور، وتحولت هذه الرواسب بتأثير الضغط والحرارة على مدى ملايين السنين واثّر عمليات كيميائية معقدة إلى نفط أو غاز طبيعي أو فحم حجري. (Patrick, 2022)

أ- النفط (البترول الخام)

يتكون من عدة مئات من المركبات الكيميائية وهو سائل ثقيل شديد اللزوجة وقد تمكن الصينيون عام 200 قبل الميلاد من استخراج النفط بحفر الآبار إلى أعماق 140 متر تم استخدامه. وفي القرن الثاني عشر تمكن العرب من استخراجه وتقطيره لمنتجات مختلفة ونقلوا هذه التقنية إلى أوروبا عند غزو الأندلس، وكان استخدامه قاصراً على الإضاءة. إلى أن جاء عام 1859م حيث تم حفر بئر في غرب بنسلفانيا بالولايات المتحدة الأمريكية وكان عمقه 21 متراً ، وتم فصل الكيوسين بعد ذلك واستخدم في الإضاءة ثم بدأت الدراسات المكثفة للاستفادة من منتجات التقطير والتي تتكون من غازات البوتان والبروبان فالبنزين ثم الكيوسين وزيت الديزل وزيت التزيت ثم المازوت وأخيراً الأسفلت.(Glavic, 2019)

وهكذا بدأ عصر النفط واهتمت دول العالم بالبحث عنه، وظهر في أماكن متعددة ، وتعددت أنواعه فكان لا بد من تحديد مقياس لتحديد درجة جودته فالخام يختلف من حيث اللون والكثافة ودرجة اللزوجة ، واتخذ رقم API كمقياس وهي اختصار American Petroleum Institute ، وهو يقيس كثافة الخام عند درجة حرارة 16م. ورقم API لمعظم زيت النفط في العالم يتراوح بين 30 5 ، والزيت الخفيف) قليل الكثافة (ثمنه غالي لاحتوائه على الغازات والبنزين وهو غالباً لا لون له ، والزيت المتوسط لونه في المعتاد أخضر بينما الزيت الثقيل يميل لونه إلى السواد. كما اتخذ البرميل الأمريكي مقياساً لحجم النفط وهو يعادل 159 لتراً، والنفط ذو درجة 300 7.2 API يشغل الطن منه برميل أمريكي.(Barzkar, 2020)

فمن النفط ما يمتاز بوفرة منتجاته الخفيفة عند التقطير فهو يعطي غازات البروبان والبوتان والبنزين والكيوسين بكميات كبيرة ويتبقى المازوت الثقيل والقار ومنه ما يمتاز بوفرة المنتجات الوسطي مثل وقود الديزل. ومنه ما يحتوي على نسبة عالية من الكبريت الذي يظل عالقاً في المنتجات الناتجة عن التقطير ويتحول بعد عملية الاحتراق إلى حامض الكبريتيك الذي يسبب تآكل المعادن الملامسة له وانهيأرها.(Ozcanli, 2020)

وتطور استخدام النفط منذ القرن التاسع عشر حينما انتشرت آلة الاحتراق الداخلي وركبت في السيارات عام 1908م ثم في قاطرات الديزل عام 1934م ثم في الطائرات عام 1937م ، . ثم تلا ذلك

استخدامه في توليد الطاقة الكهربائية ثم في الصناعات البتروكيمياوية كالمطاط الصناعي والأسمدة والمبيدات الحشرية والمذيبات وغيرها. (Barzkar, 2022)

وفي السودان أعطت وزارة الطاقة والتعدين أولوية قصوى لاستخراج البترول في الفترة من 1990 - 1998م وفتحت المجال للتمويل الاستثماري. حيث بدأ إنتاج البترول بطاقة نحو 10 ألف برميل من الخام يومياً وتم تركيب وتشغيل مصفاة الأبيض وأبو جابرة ثم مصفاة الجيلي بالخرطوم، وتشيد خط أنابيب البترول بطول 1650 كلم تمتد من هيجليج وأبو جابرة حتى ميناء التصدير بورتسودان لنقل 150 - 250 ألف برميل يومياً، كما تم تشييد البنيات الأساسية كالسكك الحديدية (بابنوسة - المجلد - الأبيض وإقامة الطرق ومستودعات التخزين). (Glavic, 2019)

ب- الغاز الطبيعي:

هذا الغاز هو خليط من غازات الميثان والإيثان والبروبان والبوتان والبنتان وهيدروكربونات ثقيلة وغازات النيتروجين وثاني أكسيد الكربون والإيدروجين وكبريتوز الإيدروجين وغازات نادرة أخرى. ويوجد على صور متعددة فمنه ما يكون مصاحباً لإنتاج النفط وقد يكون موجوداً في أماكن النفط نفسها ولكن بصورة منفصلة عنه ويسمى في هذه الحالة الغاز المصاحب، وقد يكون في أماكن النفط ولكنه مذاب فيه ولا يوجد بصورة مستقلة ويسمى في هذه الحالة الغاز المذاب، وتجدر الإشارة إلى أن كل أماكن النفط يوجد بها غاز مذاب، إلا أن الغاز المصاحب لا يوجد في كل الحالات. وهناك نوع يوجد في أماكن خاصة به وليس مصاحباً للنفط ويسمى بالغاز غير المصاحب ويكون محملاً ببخار الماء لاختلاطه بالماء في الآبار. (Sajadi, 2019)

وقد وجد الغاز الطبيعي في إيران حوالي 6000 قبل الميلاد. كما استخدم في الصين حوالي 900 قبل الميلاد وحفرت حوالي 1100 بئر فيها وكان الغاز يمتص من الآبار عن طريق أنابيب البامبو. واكتشف في أوروبا لأول مرة في عام 1659م في إنجلترا، وبدأ استخدامه على نطاق واسع في 1790م لأنه كان سهل النقل والتخزين.

في عام 1920 م ظهرت فكرة استخدام خطوط الأنابيب لنقله إلى أماكن بعيدة عن منبعه في عام 1930 م نجح العلماء في تحويله من غاز إلى سائل بتبريده إلى درجة 161 م وبذلك أمكن نقله في الناقلات البحرية. (Barzkar, 2020)

يمتاز بكونه وقوداً نظيفاً ويستخدم بصورة أساسية في تدفئة المنازل وأماكن العمل وإنتاج الطاقة الكهربائية عن طريق المحطات الحرارية، كما يستخدم البروبان والبيوتان على هيئة غازات مسالة بالضغط كوقود معبأ في اسطوانات لاستخدامه في الطبخ. أما بقية سوائل الغاز الطبيعي فإنها تضاف للجازولين لاستخدامه كوقود للسيارات .

تبلغ القيمة الحرارية للغاز الطبيعي في المتوسط حوالي 1000 وحدة حرارية بريطانية للقدم المكعب منه. (Patrick, 2022)

المتر المكعب من الغاز المسال - تم تسويله بتبريده إلى 160 م - تعادل 600 متر مكعب من الغاز عند الضغط الجوي العادي. ومن ثم فإن كثافة الغاز المسال تعادل 0.55 كيلو جرام للمتر المكعب. (Von Meier, 2024)

Mid-Ocean University

College of Management



Department of project management

**The Effects of High Penetration of Renewable Energy Sources on
the Reliability and Vulnerability of Connected Electric Power
Systems: An Applied Study on NEOM Company in the Kingdom of
Saudi Arabia**

Preparation:

Mohammed Ameen Abdullah Al shakhes

242000472

Supervision:

Dr. Al faisal Abdelhameed Mohamed

Dr. Fayez Ali Jrad

1446 – 2025