الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي بسكيكدة

قسم التكنولوجيا

تخصص هندسة كهربائية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي

مصادر الكهرباء، دراسة مُقارَنة

من إعداد: عروسي سامي

تحت إشراف الأستاذة: دثوش نجمة

لجنة المناقشة:

تيفوتي عصام	أستاذ محاضر –أ–	رئيسا
دثوش نجمة	أستاذ مساعد –أ–	مؤطرا
عثمان إيمان	أستاذ مساعد –أ–	مناقشا

السنة الجامعية 2024-2023

﴿ قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ ﴾

سورة البقرة (32)

شكر وتقدير

الحمد والشكر لله سبحانه وتعالى على نعمه التي لا تعد ولا تحصى أن تفضل عليَّ بالتوفيق لإنجاز هذا العمل، وأصلي وأسلم على سيدنا محمد وعلى أله وصحبه أجمعين.

أود أن أعبر عن خالص شكرني وامتناني وتقديري للأشخاص الذين نقلوا إليَّ أثمن رسالة في الحياة، وهم أساتذتي الكرام. بفضل خبرتهم وإرشادهم، تمكنّا من توسيع آفاقنا وتحقيق إنجازات أكبر مما كنا نتوقع. وأُخِّصُ بالشكر الأستاذة المشرفة "دتوش نجمة" التي رافقتني في جميع مراحل إعداد هذا العمل ولم تتردد في تقديم المساعدة، جزاها الله خيراً.

كما أتقدم بجزيل الشكر لأستاذي الفاضل الأستاذ "عيشاوي محمد" والأستاذة "بلحمر شهلة" الذي كانا مصدرا دعمٍ وتشجيعٍ لي خلال فترة الدراسة الثانوية وساعدوني في إبراز أفضل ما لدي فجزاهما الله كل خير.

والأستاذ "بوراوي عبد السلام" الذي أشرف عليَّ خلال فترة التربص الميداني، وكل أفراد أسرة ثانوية "صالح مرصى". كما أتوجه بالشكر إلى لجنة المناقشة لكونها قبلت مناقشة المذكرة ولمساهمتها في توجيهي وتصحيح محتواها.

إهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، اللهم لك الحمد حتى ترضى ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا.

أود أن أهدي هذا العمل المتواضع لأمي الغالية التي لولاها لمَا كنت ما أنا عليه اليوم، ولأبي العزيز الذي أحِبُه وأُقَدِّرُه كثيراً.

كل كلمات الحب والامتنان لا تكفي بحقكما بجد، فأسأل الله أن يحفظكما ويمنحكما الصحة والسعادة والعمر المديد، وأن يوفقني في برّكُما وطاعَتِكُما مهما حييت.

إلى إخوتي الأعزاء منى، كريمة وبلال الذين دعموني وشجعوني دائما.

مصادر الكهرباء، دراسة مُقارَنة

ملخص:

تعد مصادر الكهرباء العمود الفقري لأي اقتصاد معاصر، وتتنوع هذه المصادر بين التقليدية مثل الفحم والنفط، وصولا إلى المصادر الحديثة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، كلٌ بخصائصه وتأثيراته المختلفة، ولكلٍ ميزاته وعيوبه الخاصة به، تنوع هذه المصادر يسمح بتلبية احتياجات الكهرباء للمجتمعات بطرق متوازنة ومستدامة، ويعزز الاعتماد على مصادر متعددة لتحقيق الأمن الطاقوي وتقليل الاعتماد على مصادر محددة.

تضمنت هذه المذكرة دراسة تفصيلية حول الكهرباء بصفة عامة والمصادر التي تُستمد منها والمقارنة بين هذه المصادر من حيث مجموعة من الجوانب وذلك بهدف تحديد الخيارات المثلى وتحقيق التقدم المتواصل في هذا المجال.

❖ **كلمات مفتاحية:** مصادر، كهرباء، طاقة متجددة، وقود أحفوري، توليد الطاقة.

Electricity sources, a comparative study

Abstract:

Electricity sources are the backbone of any contemporary economy. These sources range from traditional sources, such as coal and oil, to renewable sources, such as solar energy and wind energy, each with its own characteristics and different effects, and each with its own advantages and disadvantages. The diversity of these sources allows the electricity needs of communities to be met in balanced ways. And sustainable, and enhances reliance on multiple sources to achieve energy security and reduce dependence on specific sources.

This memory included a detailed study on electricity in general and the sources from which it is derived and a comparison between these sources in terms of a group of aspects and aspects, with the aim of determining the optimal options and achieving continuous progress in this field.

❖ **Keywords**: sources, electricity, renewable energy, fossil fuels, power generation.

Sources d'électricité, une étude comparative

Résumé:

Les sources d'électricité constituent l'épine dorsale de toute économie contemporaine. Ces sources vont des sources traditionnelles, comme le charbon et le pétrole, aux sources renouvelables, comme l'énergie solaire et l'énergie éolienne, chacune avec ses propres caractéristiques et effets différents, et chacune avec ses propres avantages. et inconvénients. La diversité de ces sources permet de répondre aux besoins en électricité des communautés de manière équilibrée et durable, et renforce le recours à des sources multiples pour atteindre la sécurité énergétique et réduire la dépendance à l'égard de sources spécifiques.

Ce mémoire comprenait une étude détaillée sur l'électricité en général et les sources dont elle est dérivée et une comparaison entre ces sources en termes d'un groupe d'aspects et d'aspects, dans le but de déterminer les options optimales et de réaliser des progrès continus dans ce domaine.

❖ **Mots clés:** sources, électricité, énergies renouvelables, combustibles fossiles, production d'électricité.

الفهرس

الفهرس

فهرس الأشكال

فهرس الجداول

المقدمة العامة 01

الفصل الأول: عموميات حول الكهرباء.

1.1 مقدمة.... 02

2.1 تعريف الكهرباء..... 02

3.1 تاريخ الكهرباء..... 03

4.1 أنواع الكهرباء..... 04

1.4.1 الكهرباء الساكنة..... 04

2.4.1 الكهرباء المتحركة..... 05

3.4.1 أنواع الكهرباء المتحركة..... 05

1.3.4.1 التيار المستمر..... 05

2.3.4.1 التيار المتناوب..... 06

5.1 خصائص الكهرباء..... 06

1.5.1 شدة التيار الكهربائي..... 06

2.5.1 فرق الجهد..... 06

3.5.1 المقاومة الكهربائية..... 06

6.1 أهمية الكهرباء..... 07

1.6.1 زيادة إنتاجية القطاع الصناعي..... 07

2.6.1 تطوير القطاع الزراعي..... 08

3.6.1 تحسين الرعاية الصحية..... 09

4.6.1 تسهيل عملية التعليم..... 10
5.6.1 تشغيل الأجهزة الكهرومنزلية..... 10
6.6.1 إنارة المدن..... 11
7.6.1 تحسين قطاع المواصلات..... 11
8.6.1 التسلية..... 12
9.6.1 رفع درجة الأمن في المجتمع..... 12
7.1 نقل الكهرباء..... 13
1.7.1 المرحلة الأولى..... 13
2.7.1 المرحلة الثانية..... 13
3.7.1 المرحلة الثالثة..... 14
4.7.1 المرحلة الأخيرة..... 15
8.1 مخاطر الكهرباء..... 16
1.8.1 مخاطر الكهرباء على صحة الإنسان.....16
1.1.8.1 حروق الجسم.....16
2.1.8.1 التأثيرات العصبية.....16
3.1.8.1 التأثيرات على الحركة والعضلات.....17
4.1.8.1 التأثيرات على القلب.....17
2.8.1 مخاطر الكهرباء على البيئة..... 17
9.1 خاتمة..... 18

الفصل الثاني: مصادر الكهرباء.

1.2 مقدمة..... 19
2.2 الوقود الأحفوري..... 19
1.2.2 الغاز الطبيعي..... 19
1.1.2.2 تعريف الغاز الطبيعي.....19

2.1.2.2 تاريخ اكتشاف الغاز الطبيعي.....19
3.1.2.2 توليد الكهرباء باستخدام الغاز الطبيعي.....20
2.2.2 الفحم..... 21
1.2.2.2 تعريف الفحم.....21
2.2.2.2 تاريخ اكتشاف الفحم.....22
3.2.2.2 توليد الكهرباء عن طريق الفحم.....22
3.2.2 النفط..... 22
1.3.2.2 تعريف النفط.....22
2.3.2.2 تاريخ اكتشاف النفط.....23
3.3.2.2 توليد الكهرباء باستعمال النفط.....23
3.2 الطاقة الشمسية..... 23
1.3.2 تعريف الطاقة الشمسية..... 23
2.3.2 تاريخ استخدام الطاقة الشمسية..... 23
3.3.2 توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية..... 24
4.2 طاقة الرياح..... 24
1.4.2 تعريف طاقة الرياح..... 24
2.4.2 تاريخ استخدام طاقة الرياح..... 24
3.4.2 توليد الكهرباء بطاقة الرياح..... 25
5.2 الطاقة النووية..... 25
1.5.2 تعريف الطاقة النووية..... 25
2.5.2 تاريخ استعمال الطاقة النووية..... 26
3.5.2 توليد الكهرباء بالطاقة النووية..... 26
6.2 الطاقة الكهرومائية..... 27
1.6.2 تعريف الطاقة الكهرومائية..... 27

2.6.2 تاريخ استخدام الطاقة الكهرومائية..... 27
3.6.2 توليد الكهرباء باستعمال الطاقة المائية..... 28
7.2 طاقة المدّ والجزر..... 29
1.7.2 تعريف المد والجزر..... 29
2.7.2 كيفية حدوث ظاهرة المد والجزر..... 29
3.7.2 توليد الكهرباء من ظاهرة المد والجزر..... 30
1.3.7.2 الطريقة الأولى (الطريقة الشاطئية).....30
2.3.7.2 الطريقة الثانية (الطريقة البعيدة عن الشاطئ).....30
8.2 طاقة الكتلة الحيوية..... 31
1.8.2 تعريف طاقة الكتلة الحيوية..... 31
2.8.2 تاريخ استغلال طاقة الكتلة الحيوية..... 32
3.8.2 توليد الكهرباء باستغلال الكتلة الحيوية..... 32
9.2 الطاقة الجيوحرارية..... 33
1.9.2 تعريف الطاقة الجيوحرارية..... 33
2.9.2 تاريخ استخدام الطاقة الجيوحرارية..... 33
3.9.2 توليد الكهرباء بالطاقة الجيوحرارية..... 33
1.3.9.2 محطات البخار الجاف.....33
2.3.9.2 محطات الدائرة المزدوجة.....34
10.2 خاتمة..... 34

الفصل الثالث: المقارنة بين مصادر الكهرباء.

1.3 مقدمة..... 35
2.3 التكلفة 35
3.3 المردودية..... 36

4.3 التأثير البيئي 37
5.3 الوفرة 38
6.3 الحداثة والتطور التكنولوجي 39
7.3 سهولة الاستغلال 40
8.3 إمكانية التخزين..... 41
9.3 خاتمة.....42
الخاتمة العامة.....43
قائمة المراجع.....44

فهرس الأشكال

الفصل الأول: عموميات حول الكهرباء.

الشكل 1.1: تجربة المفتاح والطائرة الورقية لبنجامين فرانكلين.....03
الشكل 2.1: قانون أوم.....04
الشكل 3.1: محركات مصنع ضخمة تشتغل بالكهرباء.....08
الشكل 4.1: إنارة كهربائية داخل بيت بلاستيكي.....09
الشكل 5.1: عَتَاد عمليات جراحية يشتغل بالكهرباء.....09
الشكل 6.1: قاعة جامعية للإعلام آلي.....10
الشكل 7.1: مجموعة أجهزة كهرومنزلية.....10
الشكل 8.1: إنارة وإشارات مرور شارع أمريكي.....11
الشكل 9.1: قطار سريع كهربائي.....11
الشكل 10.1: ألعاب فيديو على التلفاز.....12
الشكل 11.1: كاميرا كهربائية للحماية والمراقبة.....12
الشكل 12.1: خطوط نقل الكهرباء مُثَبتة على أبراج فولاذية.....14
الشكل 13.1: مُحَوِل خافض للجهد.....15
الشكل 14.1: مُحَوِل خافض للجهد.....15

الفصل الثاني: مصادر الكهرباء.

الشكل 1.2: محطة لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام الغاز الطبيعي.....20
الشكل 2.2: توربينات الغاز.....21
الشكل 3.2: فحم حجري.....21
الشكل 4.2: نظام خلايا كهروضوئية.....24
الشكل 5.2: توربينات الرياح.....25
الشكل 6.2: إضاءة سلسلة ال4 مصابيح عام 1951.....26
الشكل 7.2: شرح عملية توليد الكهرباء باستعمال الطاقة النووية.....27
الشكل 8.2: ناعورة.....28
الشكل 9.2: سد طاقة كهرومائية.....29
الشكل 10.2: سد بوابات للتحكم في تيارات المد والجزر.....30
الشكل 11.2: عنفة مثبتة على برج بعرض البحر.....31
الشكل 12.2: دورة طاقة الكتلة الحيوية.....32
الشكل 13.2: آلية عمل محطات البخار الجاف.....34

فهرس الجداول

الفصل الثالث: المقارنة بين مصادر الكهرباء.

الجدول 1.3. تكاليف مصادر الكهرباء المختلفة لعام2020.....35
الجدول 2.3. إجمالي إنتاج الكهرباء لسنة2021.....36
الجدول 3.3. مصادر الكهرباء من حيث التأثير البيئي.....37
الجدول 4.3. مصادر الكهرباء من حيث الوفرة.....38
الجدول 5.3. مصادر الكهرباء من ناحية الحداثة والتطور التكنولوجي.....39
الجدول 6.3. مصادر الكهرباء من حيث سهولة الاستغلال.....40
الجدول 7.3. مصادر الكهرباء من ناحية إمكانية التخزين.....41

المقدمة العامة

تُعد الكهرباء أحد أكثر الاكتشافات أهمية في تاريخ الإنسان، بدأت استخداماتها في القرن الـ 19، ومنذ ذلك الحين أصبحت أساسية للعديد من الجوانب في حياتنا اليومية، بدءًا من إضاءة المنازل والمدارس وصولًا إلى تشغيل الأجهزة الكهربائية المعقدة والتكنولوجيا الحديثة.

تتفاوت مصادر الكهرباء بشكل كبير، حيث تتضمن مزيجًا متنوعًا من المصادر الاقتصادية والبيئية. من بين هذه المصادر، نجد الوقود التقليدي مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي، والتي تعتمد على احتراق الوقود لتوليد الكهرباء. ومن الناحية البيئية، هذه المصادر تثير قلقًا بسبب انبعاثات الكربون وتأثيرها الضار على مناخ الأرض

على الجانب الآخر، نجد مصادر الكهرباء المتجددة مثل الطاقة الشمسية والرياح، والتي تعتمد على مصادر طبيعية ومتجددة لتوليد الكهرباء بطرق صديقة للبيئة. هذه المصادر تحظى بزيادة الاهتمام بفضل قدرتها على تقليل الانبعاثات الضارة والاعتماد على مصادر طاقة متجددة.

مع التزايد المستمر في استهلاك الكهرباء عالميًا، تصبح معرفة مصادر الكهرباء واختيار البدائل المستدامة أمرًا بالغ الأهمية، ستكمل هذه المذكرة تحليلًا شاملًا للمصادر المختلفة للكهرباء والمقارنة بينها.

هذه المذكرة تنقسم الى ثلاثة فصول.

الفصل الأول: نتطرق في هذا الفصل الى عموميات حول الكهرباء، حيث نتعرف فيه على الكهرباء وتاريخها، أنواعها، خصائصها، أهميتها، طريقة نقلها وأخيراً مخاطرها.

الفصل الثاني: في هذا الفصل نستعرض مجموعة متنوعة من مصادر الكهرباء، بدءًا من التقليدية مثل الفحم والغاز الطبيعي، وصولاً إلى المصادر المستدامة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. وتوضيح كيفية استغلال هذه المصادر لتوليد الكهرباء.

الفصل الثالث: قمنا في هذا الفصل بإجراء عملية المقارنة بين مصادر الكهرباء من حيث مجموعة من الجوانب والنواحي، بهدف تحديد الخيارات الأمثل وتركيز المساعي لبلوغ التطور المستمر واستيفاء متطلبات الطاقة للأجيال القادمة.

الفصل الأول

عموميات حول الكهرباء

1.1 مقدمة

تعتبر الكهرباء واحدة من أشهر وأهم أشكال الطاقة في العالم، ولها تأثير عميق على الحياة اليومية والتكنولوجيا الحديثة التي استخدمها الإنسان على مر العصور لتلبية احتياجاته المتزايدة، إن فهم الكهرباء يمثل جوهراً أساسياً في تطور التكنولوجيا الحديثة وتقدم المجتمعات، يقوم هذا الفصل بتقديم نظرة عامة حول عموميات الكهرباء، مستعرضاً التأثيرات والتطبيقات العملية لهذه القوة الرئيسية.

2.1 تعريف الكهرباء

هي عبارة عن ظاهرة طبيعية تنشأ نتيجة لوجود جسيمات أولية تحمل شحنات كهربائية مختلفة في الذرات، هذه الجسيمات الأولية تشمل الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات، تعتبر الإلكترونات الجسيمات ذات الشحنة السالبة، بينما تعتبر البروتونات الجسيمات ذات الشحنة الموجبة. أما بالنسبة للنيوترونات فتكون خالية من الشحنة.

تنشأ الكهرباء عن طريق حركة الإلكترونات وتدفقها في جسم موصل، وهذا التدفق الكهربائي يُعرف عادة باسم التيار الكهربائي، عندما تتحرك الإلكترونات في مادة موصلة، يمكن استخدام هذا التيار لتشغيل الأجهزة ونقل الطاقة الكهربائية من مكان إلى آخر.

يمكن أن تنشأ الكهرباء أيضا عندما يحدث تراكم للشحنات الكهربائية في الأجسام. يمكن أن يحدث هذا التراكم بسبب عدة عوامل، من بينها الاحتكام للجاذبية بين الشحنات المختلفة والتفاعلات الكيميائية والإشعاعات الشمسية وغيرها من العوامل، عندما تكون هناك فرصة للشحنات المختلفة للتفاعل والتحرر يمكن أن تنشأ الكهرباء[1].

بالنسبة للمواد، تختلف قدرتها على التمسك بالإلكترونات المحيطة بها. إذا كانت قدرة النواة على التمسك بالإلكترونات الخارجية ضعيفة، فإن ذلك يزيد من سهولة تحرير الإلكترونات وتيسير تدفق التيار الكهربائي، هذا يعني أن المادة تعتبر موصلاً جيدًا للكهرباء كما هو حال المواد المعدنية بشكل عام مثل الحديد، النحاس والفضة، وفي المقابل إذا كانت النواة قوية في التمسك بالإلكترونات فإن ذلك يصعب على الإلكترونات الانفصال عنها، مما يجعل المادة موصلاً سيئًا للكهرباء كالخشب والزجاج[2].

3.1 تاريخ الكهرباء

بدأت قصة اكتشاف الكهرباء منذ القدم عندما بدأ العالم الأمريكي بنجامين فرانكلين في عام 1752م في إثبات أن البرق عبارة عن طاقة كهربائية، وذلك من خلال تجربة قام فيها بربط مفتاح معدني بطائرة حريرية تركها تطير خلال عاصفة رعدية، وعندما أبرقت السماء وأصابت الطائرة، وفي لحظة تاريخية لا تُنسى انتقلت شحنة كهربائية صغيرة من الطائرة إلى المفتاح المعدني ثم إلى يد بنجامين فرانكلين، محدثةً تأثيرًا مذهلاً ومرعبًا.

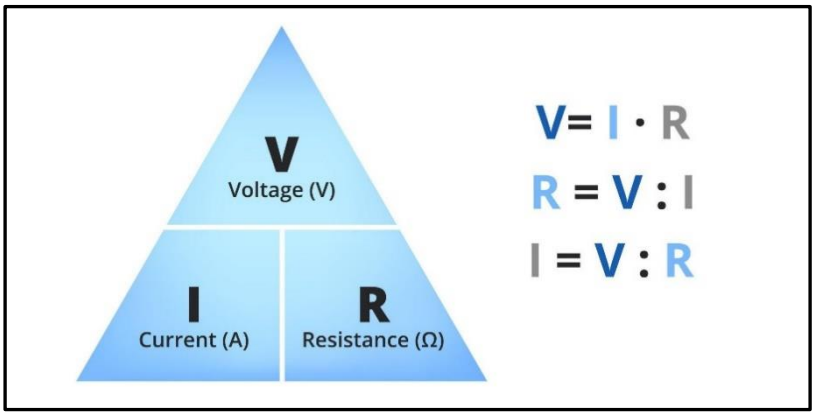
الصعقة الكهربائية التي تسببت فيها هذه التجربة لم تكن محطة تحول في فهم البرق وفقط، بل كانت أيضًا بداية لعصر جديد من الاكتشافات في مجال الكهرباء، بمواصلة تطوير التجارب والأبحاث لتفسير طبيعة الكهرباء وتطبيقاتها المستقبلية، وقادت هذه الرحلة إلى تطور العديد من التقنيات والابتكارات في ميدان الطاقة الكهربائية[3].

الشكل 1.1: تجربة المفتاح والطائرة الورقية لبنجامين فرانكلين.

وفي عام 1786م قام البروفسور الإيطالي الطبيب لويجي جالفاني بالمساعدة على اكتشاف مبدأ عمل البطارية الكهربائية بطريق الخطأ، وذلك عندما لاحظ نفور رجل الضفدع الذي كان يقوم بتشريحه عندما قرب سكينة منها فظن ان الكهرباء مخزنة في عضلات الضفدع ولكن وفي عام 1792م اكتشف العالم الإيطالي أليساندرو فولتا أن هذا غير صحيح لأن الكهرباء تكونت بسبب وجود الرطوبة بين السكين والصفيحة القصديرية التي كان الضفدع ممددا عليها وليس كما ظن الطبيب جالفاني.

وبناءً على هذا قام العالم الإيطالي فولتا باختراع أول بطارية في العالم والتي صنعها من مجموعة من صفائح الزنك والنحاس المفصولة بألواح ومن هنا كانت بداية اكتشاف طريقة توليد التيار المباشر والمستمر وكان من هنا أيضا تسمية وحدة قياس الجهد الكهربائي بالفولت نسبة لهذا العالم.

فتح اختراع البطارية بعد ذلك مجالات جديدة لاستكشاف التيار الكهربائي من بينه التيار المستمر الذي تَبِعَهُ اكتشاف قانون أوم والذي يربط التيار بالجهد الكهربائي والمقاومة الكهربائية، وقانون جول للتسخين الكهربائي، حيث يعتبر قانون أوم وقانون كيرشوف الذي تم اكتشافه لاحقاً الأساس للحسابات المتعلقة بالدارات الكهربائية [3].



الشكل 2.1: قانون أوم.

4.1 أنواع الكهرباء

1.4.1 الكهرباء الساكنة

تُعدّ الكهرباء الساكنة أو الكهرباء السكونية (Static Electricity) النوع المسؤول عن العديد من الظواهر التي يعيشها الإنسان في حياته اليومية، والتي لا يُمكن فهمها إلّا من خلال فهم فيزياء الكهرباء السكونية ومبدأ عملها، ومن هذه الظواهر أن يتلقّى الشخص صدمة كهربائية خفيفة من مقبض الباب بعد مشيه على السجّاد، أو من مقبض السيارة عند مغادرتها ومحاولة إغلاقها، أو عند خلع السترات الصوفية، ومن الجدير بالذكر هنا أنّ ظاهرة البرق خلال العواصف الرعدية سببها الكهرباء السكونيّة[4].

تحدث ظاهرة الكهرباء السكونية عند تراكم عدد كبير من الشحنات الكهربائية على سطح ما عند فرك جسمين ببعضهما البعض وتلامسهما معاً، مما يؤدي إلى تغيير شحنتيهما بعد أن كانا متعادلي الشحنة، أي أنّهما كانا يملكان عدداً متساوياً من الجسميات الموجبة (البروتونات) والجسيمات السالبة (الإلكترونات)، فعلى سبيل المثال لو تمّ فرك بالون بسترة صوفية فإنّ الإلكترونات ستنتقل من الصوف إلى البالون، فيصبح

البالون مشحوناً بشحنة سالبة، لأنّه اكتسب إلكترونات إضافية، أمّا الصوف فسيحمل شحنة موجبة؛ لأنّه فقد إلكترونات.

لا تنحصر ظواهر الكهرباء السكونية على ما تمّ ذكره من مواقف يومية في الحياة، بل تعتبر مسؤولة أيضا عن العديد من الظواهر الكونية الطبيعية، لكن هذه الظواهر لا تحدث باستمرار ما لم تكن هناك قوىً أخرى مرتبطة بها، فالكهرباء السكونية وما ينتج عنها من قوى التجاذب والتنافر تحافظ على البناء الذري للمادة وتحافظ على توازنها. والتي تساهم في كتل الأجسام والأشياء المادية، وهي أيضا استجابة الإنسان لحواسه من تذوّق، لمس، وحركة، فهي جميعها ظواهر كهربائية تحدث في جسم الإنسان[4].

2.4.1 الكهرباء المتحركة

تنشأ الكهرباء المتحرّكة نتيجة مرور تيّار كهربائيّ عبر جسم موصل ممّا يؤدي إلى تسخينه وارتفاع درجة حرارته، ويُعرَّف التيّار الكهربائيّ على أنّه معدّل تدفق الإلكترونات في جسم الموصل، ويُقاس بالأمبير (Ampere)[4] ويُمكن تشبيه التيار الكهربائيّ بالتيّار المائيّ الذي يمرّ عبر قنوات نهريّة، فتدفق الإلكترونات وحركتها يُشبه تدفّق الماء من نقطة إلى أخرى، ومجرى النهر يشبه الموصل الكهربائي الذي يسري فيه التيّار والذي يكون مصنوعاً عادة من النحاس، وبما أنّه يُمكن قياس سرعة المياه وطاقتها في النهر، فإنّه يُمكن أيضاً حساب شدة التيّار، هناك العديد من الطرق والمصادر التي يُمكن توليد الكهرباء من خلالها، منها التفاعلات الكيميائية، وهو مبدأ عمل البطاريات، ومن أشهر طرق توليد الطاقة الكهربائية، ما يحدث في المولّدات الكهربائية، إذ تعمل على تحويل الطاقة المغناطيسية إلى طاقة كهربائية عند دوران المغانط الكهربائية مختلفة الأقطاب حول ملفّ من الأسلاك النحاسية، وهو ما يحدث تحديداً في محطات توليد الطاقة الكهربائية[4].

3.4.1 أنواع الكهرباء المتحركة

تُقسَّم التيّارات الكهربائية إلى نوعين رئيسيين هما:

1.3.4.1 التيار المستمر

يُرمز للتيّار المستمر بالرمز (DC) (Direct Current)، وهو التيّار ذو القيمة والاتجاه الثابتين واللذين لا يتغيّران مع الزمن، حيث تتحرّك الإلكترونات باتجاه واحد من القطب السالب للبطارية وصولاً للقطب الموجب.

2.3.4.1 التيار المتناوب

يُرمز له بالرمز (AC) (Alternating Current)، وهو التيّار ذو القيمة والاتجاه المتغيّرين مع مرور الوقت بشكل دوريّ متكرّر، أي أنّ قيمته تتغيّر من الصفر إلى أقصى قيمة موجبة يُمكن أن يصلها التيّار، ثمّ تتناقص لتصل إلى الصفر، ثمّ تتعدّاه إلى أقصى قيمة سالبة، ثمّ تعاود الزيادة مرة أخرى، وهكذا دواليك، حيث تسير الإلكترونات باتجاه معيّن، ثمّ تعكس مسارها وتسير بالاتجاه المعاكس وصولاً لأقصى قيمة للتيّار، وتتكرر هذه العملية حوالي 50–60 مرة في الثانية الواحدة.

5.1 خصائص الكهرباء

يمكن تحديد خصائص الكهرباء من خلال العوامل الثلاثة الآتية[5] :

1.5.1 شدة التيار الكهربائي

ويشار لها بالرمز (I)، ووحدة قياسها الأمبير، وهي عبارة عن عدد الإلكترونات التي تعبر الموصل في الثانية الواحدة، ويتدفّق التيار الكهربائيّ عادة من القطب ذو الشحنة السالبة باتجاه القطب ذو الشحنة الموجبة.

2.5.1 فرق الجهد

يُقاس فرق الجهد الكهربائي بين جسم سالب وآخر موجب، ووحدة قياسه الفولت، ويُرمز لها بالرمز (V) ويمثّل الجهد الكهربائي مقدار العمل أو الشغل المنجز لكل شحنة كهربائية لتحريك الإلكترونات بين القطبين الموجب والسالب.

3.5.1 المقاومة الكهربائية

تمثّل المقاومة الكهربائية عائقاً أمام سريان التيّار الكهربائي في الأجسام، وتُقاس بوحدة الأوم (Ohms)، وتعتمد على نوع المادة وحجمها، حيث تعتبر المعادن ذات مقاومة منخفضة لذلك فهي موصلات جيّدة للكهرباء، أمّا الخشب مثلاً فهو مادة ذات مقاومة عالية جداً ولا يعتبر نتيجة لذلك موصلاً جيداً للكهرباء، كما أنّ الأسلاك الطويلة لديها مقاومة أعلى مقارنة بالأسلاك القصيرة، وكذلك الحال بالنسبة للأسلاك الرقيقة التي تعتبر ذات مقاومة أعلى من الأسلاك السميكة، ويمكن تلخيص ما سبق بالقانون الآتي:

$$R=\rho \frac{L}{A}$$

6.1 أهمية الكهرباء

تعدّ الكهرباء حالياً الشكل المفضّل للاستخدام مقارنة بأشكال الطاقة الأخرى، وذلك نظراً لكفاءتها العالية، وسهولة الوصول إليها والتعامل معها، وقد كان الفحم قديماً هو المصدر الرئيسي لتوليد الطاقة الكهربائية لأعوام عديدة، ولكن التطور المستمر واكتشاف مصادر جديدة للطاقة جعل الطاقة الكهرومائية، والغاز الطبيعي، والطاقة النووية، من المصادر التي تُستخدم أيضاً لتوليدها بشكل كبير[6].

أُستُخدمت الكهرباء وما زالت تُستخدم في العديد من الأجهزة، وقد أضاءت الكهرباء مناطق مختلفة من العالم، وأصبحت ضرورة قصوى لتقدّم المجتمعات وازدهار اقتصادها، فوجود الكهرباء سهّل سبل الحياة وجعلها أكثر أمناً وسلامة، حيث يمكن من خلالها مثلاً الحفاظ على المنازل باردة، أو دافئة خلال الصيف أو الشتاء، كما يمكن من خلالها الحفاظ على الطعام وحفظه من الفساد، والحصول على مياه نقية وآمنة للشرب[6].

من بين استخدامات الكهرباء نذكر ما يلي:

1.6.1 زيادة إنتاجية القطاع الصناعي

تُستخدم الكهرباء في القطاع الصناعي لتشغيل المُحرّكات، الآلات المُختلفة، الأضواء، أجهزة الحواسيب، المعدّات المكتبيّة، معدّات التدفئة، التبريد، والتهوية في المنشآت والأبنية، بحيث تشتري مُعظم المرافق الصناعيّة الكهرباء من مرافق التزويد بالطاقة الكهربائية، أو من منتجي الطاقة المستقلّين، بينما تولّد بعض هذه المرافق الكهرباء لاستخدامها في تشغيل المصانع عن طريق حرق الوقود [7].

تغيَّر وجهُ العالم الصناعيّ مع بداية الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر بفضل استخدام الكهرباء في صناعة المنتجات، وساهمت الطاقة الكهربائية في إنتاج السلع بشكل أسرع وأكثر إتقاناً وأعلى جودة،[8] أمّا في العصر الحالي فقد زاد استخدام الآلات الكهربائية، ممّا أدّى إلى زيادة إنتاج السلع المتعددة، والقدرة على تشغيل الآلات في جميع الصناعات سواءً أكانت الكبيرة أم الصغيرة، الأمر الذي ساهم في نموّ الصناعات، وتحسين حالة أفراد المجتمع [9].

الشكل 3.1: محركات مصنع ضخمة تشتغل بالكهرباء.

2.6.1 تطوير القطاع الزراعي

تُساهم الكهرباء بشكل فعّال في مجال الزراعة، حيث تُستخدَم في العديد من التطبيقات الحديثة التي تعمل بالكهرباء في مجالات متنوّعة في القطاع الزراعي، وتتراوح تلك التطبيقات من البسيط نسبيّاً إلى الأكثر تعقيداً، مثل تلك المُستخدَمة في معالجة مواد الخام المستخرجة من الطبيعة، وتحويلها إلى شكل آخر قابل للاستفادة، بالإضافة إلى التطبيقات الكهربائيّة التي تسمح بإيجاد بيئة خاضعة للرقابة في بيوت تربية الماشية، كبيوت الدواجن، وفي البيوت البلاستيكيّة الخاصّة بالمحاصيل الزراعيّة المُختلفة[10].

تلعب الكهرباء دوراً أساسياً في مزارع الألبان، من خلال توفير المعدّات اللازمة للحفاظ على جودة المنتجات، وتتمّ عمليّة إدارة المزارع والتحكم بالمعدّات الكهربائية باستخدام الحاسوب، وبالإضافة إلى ذلك تمّ تطوير معدّات تعمل بالطاقة الكهربائيّة لحفظ المحاصيل وتخزينها، ممّا ساهم في التغلُّب على تغيّرات الأحوال الجويّة السيّئة وتقليل وقت العمل وعدد اليد العاملة.

تُساعد الكهرباء على زيادة إنتاجيّة المزارعين، حيث تتيح للمُزارع إمكانية تشغيل الآلات الكهربائيّة، وتُساعدهم على استغلال أوقاتهم والاستفادة منها بشكل أفضل، والحصول على كميات إنتاجيّة أكبر، وتساهم في تطوير استراتيجيات الريّ لديهم وتحسين مستوى أنشطتهم الزراعيّة[10].

الشكل 4.1: إنارة كهربائية داخل بيت بلاستيكي.

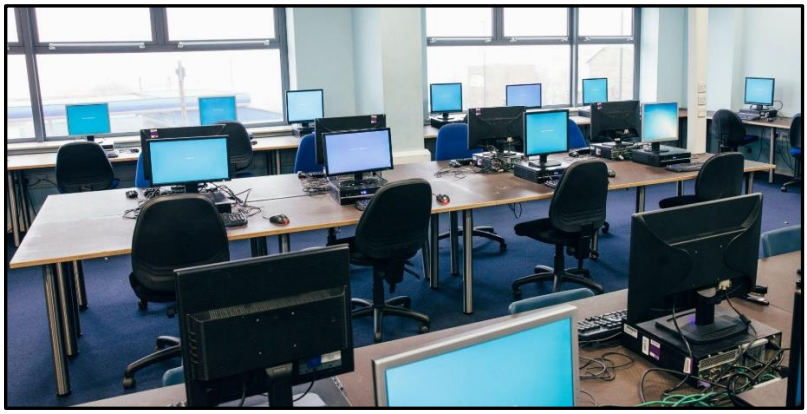
3.6.1 تحسين الرعاية الصحية

أدّى استخدام الكهرباء إلى الوصول إلى علاج الكثير من الأمراض عن طريق استخدام أجهزة العلاج الكهربائيّ، وتشغيل الآلات والمعدّات الكهربائيّة عند القيام بالعمليات الجراحيّة، هذا إلى جانب قدرتها على تصوير الأجهزة الداخليّة في الجسم من خلال استخدام الأشعة السينيّة. توفِّر الكهرباء أيضًا بيئة مناسبة للمحافظة على صلاحية المطاعيم والأدوية، وتساهم في إنشاء شبكة معلومات طبية تربط العيادات الصحية الصغيرة بالمختصين والمستشفيات الكبيرة في حالات الطوارئ، كما ساهمت في زيادة أعداد المرضى المعالجين خلال اليوم الواحد بفضل توفير الإضاءة المناسبة للعلاج خلال فترة الليل، مما أدّى إلى تقليل نسبة الوفيات[9].

الشكل 5.1: عَتَاد عمليات جراحية يشتغل بالكهرباء.

4.6.1 تسهيل عملية التعليم

يُمكن للكهرباء أن توفّر العديد من الخدمات في مجال التعليم داخل الفصول الدراسية في المدارس، والجامعات، والمعاهد، ومن هذه الخدمات الإضاءة التي يُمكن من خلالها التدريس في الفصول المدرسية في أيّ وقت من اليوم، كما تُسهّل الكهرباء من عملية الاستفادة من تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في الصفوف الدراسية، من خلال استخدام أجهزة التلفاز، والحواسيب. يجب الذكر هنا أنّ البنية التحتية السيئة الخاصة بالمدارس يُمكن أن تؤثر سلباً في كل من المعلمين والطلاب خلال العملية التعليمية في حال عدم وجود الكهرباء، وذلك لافتقارهم للأدوات والوسائل التكنولوجيّة التي تسهّل العمليّة الدراسيّة بأكملها[11].



الشكل 6.1: قاعة جامعية للإعلام آلي.

5.6.1 تشغيل الأجهزة الكهرومنزلية

تعمل الكهرباء على تشغيل الأجهزة الكهربائية الضرورية للحياة اليومية كالثلاجة، والغسالة، وشحن الأجهزة الخلوية والحواسيب، والتدفئة والتبريد وغيرها، وهي أجهزة ضروريّة تعمل على تسهيل الحياة بشكل كبير وملحوظ دون مشقّة، كما توفّر الكهرباء الإنارة للمنازل التي لا غنى عنها[9].

الشكل 7.1: مجموعة أجهزة كهرومنزلية.

6.6.1 إنارة المدن

تُعدّ الكهرباء أساس الحياة الحديثة، وأساسها خاصة في المدن، وتُعتبر إنارة المدن واحدة من أهم فوائد الكهرباء للمدن، وتشمل إنارة الطرق الداخلية والخارجية، إلى جانب تشغيل الإشارات الضوئية التي تسمح للسائقين بالمرور أو التوقف وبالتالي تنظيم السير والعمل، والحياة بشكل عام في المجتمع المدني[11].

الشكل 8.1: إنارة وإشارات مرور شارع (times square)الأمريكي.

7.6.1 تحسين قطاع المواصلات

تعمل الطاقة الكهربائية على تشغيل المركبات الموفّرة للطاقة، إذ تتميز هذه المركبات بتصميم خاصٍ يساهم في منع تأثير الهواء الخارجيّ على السيارة أثناء قيادتها، مما يُساهم بتقليل الطاقة المستخدمة للتشغيل أولًا، والحفاظ على البيئة من الملوثات والغازات التي تُطلقها السيارات المُعتمدة على الطاقة البترولية[11].

الشكل 9.1: قطار سريع كهربائي.

8.6.1 التسلية

تعمل الكهرباء على تشغيل الكثير من الأجهزة التي تُوفّر التسلية والترفيه للإنسان، كالتلفاز، وشاشات العرض، إلى جانب ألعاب الفيديو، والألعاب الكهربائية للأطفال التي تخلقُ لهم جوًّا من المتعة والترفيه والتي لا يمكن لها أن تعمل دون وجود الكهرباء[11].

الشكل 10.1: ألعاب فيديو على التلفاز.

9.6.1 رفع درجة الأمن في المجتمع

تعمل الكهرباء على تبديد القلق وزيادة الأمان عبر التقليل من عزلة المناطق الريفية وحتّى المدن عن بعضها البعض، وذلك عبر تشغيل مصابيح الإنارة الخارجية على الطّرقات، وأجهزة الإنذار، وأنظمة الحماية، وإشارات المرور، وهو ما ينعكس إيجابًا على أمن المجتمع وسلامة مواطنيه[11].

الشكل 11.1: كاميرا كهربائية للحماية والمراقبة.

7.1 نقل الكهرباء

نتطرق الآن لكيفية نقل الكهرباء ووصولها للمنازل حيث تمر بأربعة مراحل كالآتي:

1.7.1 المرحلة الأولى

أولاً يتمّ توليد الكهرباء في محطات الطاقة بجهد كهربائي خاص بها يصل إلى 25,000V ،[12] وبعدها يتمّ نقل الكهرباء عبر خطوط الجهد العالي أو خطوط الضغط العالي (Overhead Lines) من محطّات الطاقة إلى محطّات فرعيّة كبيرة تقع عادةً بالقُرب منها، ويقع على عاتقها دور كبير في عملية نقل الكهرباء، ثمّ تقوم برفع الجُهد الكهربائي للتيار ليصل إلى 400,000V ، لأنّ التيار الكهربائي عندما يسري عبر خطوط الجُهد العالي ترتفع درجة حرارتها، بمعنى آخر يفقد التيار الكهربائي كمية من الطاقة خلال عميلة النقل، لذا فإنّ زيادة الجهد الكهربائي للتيار والتي تتمّ عن طريق استخدام المحوّلات تسمح بإرساله إلى مسافات طويلة دون فقدان الكثير من الطاقة، وبعدما يتمّ إكمال عملية مرور التيار على أول محطّة فرعيّة تبدأ عملية نقل الكهرباء إلى الشبكات، ومن المهم الإشارة إلى أنّه يجب تخفيض الجهد الكهربائي في المحطات الفرعية لتوزيع الطاقة الكهربائية، لأنّ الجهد العالي يُمكن أن يضر بالأجهزة الكهربائية عند وصول الكهرباء إلى المنازل[12].

2.7.1 المرحلة الثانية

تتضمن المرحلة الثانية نقل التيار الكهربائي عبر الأسلاك التي تنقل التيار الكهربائي وتُسمّى خطوط نقل الكهرباء (Transmission Lines) التي تُحمَل على أبراج ضخمة مصنوعة من الفولاذ، بينما تُصنَع الأسلاك من المعادن، كالنحاس أو الألومنيوم وهو الشائع، لأنّ المعادن موصلات جيدة للكهرباء، ويُشار إلى أنّ التيار الكهربائي يسري عبر خطوط النقل بسرعة تصل إلى 310,000km/s لمسافة تصل إلى حوالي 480km[13].

الشكل 12.1: خطوط نقل الكهرباء مُثَبتة على أبراج فولاذية.

3.7.1 المرحلة الثالثة

تتضمن هذه المرحلة توزيع الكهرباء من خلال محطّات فرعيّة، حيث تقوم هذه المحطّات بتوجيه الكهرباء ذات الجُهد العالي من خطوط النقل إلى محوّلات خافضة الجُهد (Step-Down Transformer)، ليتمّ خفض الجهد مرة أخرى، لجعل الكهرباء أكثر أماناً أثناء استخدامها من قِبل الأُسر وباقي المستخدمين، حيث تُمثّل هذه المحطّة الفرعية نقطة وصول الكهرباء إلى شبكات التوزيع، وانتهاء دور شبكات النقل، وتجدر الإشارة إلى أنّه يُمكن أن تختلف كمية الجُهد الكهربائي المُخفَّض من قِبَل المحوّلات في المحطّات الفرعيّة اعتماداً على الاستخدام والموقع، فعلى سبيل المثال يتمّ تقليل الجهد الكهربائي في المحطّات الفرعيّة في المناطق الريفيّة ليصل إلى 33,000V، لجعلها مُلائمة للاستخدام في تشغيل القطارات والمصانع، بينما يتمّ تقليل الجهد الكهربائي في المحطّات الفرعيّة في المناطق الحضرية ضمن مدى يتراوح بين 11,000-33,000V لتشغيل المصانع الصغيرة[14].

الشكل 13.1: مُحَوِل خافض للجهد.

4.7.1 المرحلة الأخيرة

تبدأ هذه المرحلة بمجرّد مُغادرة التيار الكهربائي محوّلات الطاقة الفرعيّة ودخولها خطوط توزيع الطاقة إلى المنازل والمكاتب، لكن الكهرباء التي تسري في خطوط التوزيع لا تزال غير آمنة للاستخدام في المنازل، لذا يتمّ استخدام محوّلات خافضة للجُهد مرة أخرى ليصل الجُهد الكهربائي كحدّ أقصى إلى 240V، ويتمّ ذلك من خلال محوّل صغير مُثبّت على الأعمدة في الشوارع، أو عن طريق محوّلات على شكل صناديق خضراء اللون تُسمّى (Pad Mount Transformer) موضوعة في الأرض[15].

الشكل 14.1: مُحَوِل خافض للجهد.(Pad mount transformer)

8.1 مخاطر الكهرباء

1.8.1 مخاطر الكهرباء على صحة الإنسان

1.1.8.1 حروق الجسم

إنّ مرور تيّار كهربائي عبر جسم ما ينشئ مقاومة لهذا التيار تمنع أو تعيق مروره، وعادة ما تكون المقاومة على شكل حرارة تسخّن ذلك الجسم لدرجات حرارة مرتفعة قد تسبب احتراقه، لذلك فإنّ الصدمات الكهربائية ذات الجهد العالي الذي يتراوح بين 500V– 1000V في حال تعرّض لها جسم الإنسان تسبب له الحروق الجسدية الخطيرة التي تؤدّي إلى حرق أنسجة الجسم، ومن ناحية فسيولوجية فإنّ تأثير تلك الحروق شبيهة بالحروق الناتجة عن الاحتراق باللهب أو أيّ مصدر ذي حرارة مرتفعة، كما يؤدي الاحتراق بالتيّار الكهربائي إلى حرق الأنسجة تحت جلد وحرق أعضائه الداخلية، ويتناسب خطر الحرق مع مقدار الجهد الكهربائي والمدة التي تعرض لها الجسم[16].

2.1.8.1 التأثيرات العصبية

يتضرّر الجهاز العصبيّ لدى الإنسان بشكل كبير في حال تعرّضه لتيّار كهربائي معين، وقد يكون هذا هو التأثير الأكثر خطورة على الإنسان، فمن المعروف أنّ الجهاز العصبي يتكوّن من خلايا عصبية متّصلة بين الدماغ والحبل الشوكي وجميع الأعضاء الحسية والحركية في الجسم، ومسؤوليتها الرئيسية تبادل الإشارات العصبية التي تنظّم وظائف الجسم واستجابته، وعمليات التفكير والتذكّر والإحساس، وهذه الإشارات العصبيّة ما هي إلّا إشارات كهربائية دقيقة الجهد والتيّار، لهذا فإنّ تعرّض هذه الخلايا الحساسة لتيار كهربائي كبير سيؤثّر على مقدار التيّار والجهد الذي تنتجه.

ولأنّ أعصاب جسم الإنسان تتكوّن من أنسجة ضعيفة يصعب عليها مقاومة التيّار الكهربائي، فإنّ حجم الضرر في كثير من الأحيان قد يكون كبيراً، ويتناسب مقدار الضرر وتلف الأعصاب والدماغ الذي يسببه التيّار الكهربائي مع مقدار وحجم الإصابة، فتتراوح هذا التأثيرات بين آثار تزول أعراضها مع الزمن كآلام الوخز، التنميل، أو صعوبة تحريك الأطراف والتي في بعض الأحيان قد تبقى دائمة، وآثار أخرى خطيرة تؤثر على الجهاز العصبي المركزيّ قد تشكِّل حالة من الذهول، وفقدان الذاكرة، أو نوبات خطيرة، أو توقّف التنفّس الذي يؤدي إلى الموت، وتجدر الإشارة أيضاً إلى أنّ بعض الإصابات تؤدي إلى إحداث حالة من الاضطرابات النفسية[17].

3.1.8.1 التأثيرات على الحركة والعضلات

كما ذكرنا يؤثّر التعرّض لتيار كهربائي في الإشارات الكهربائية العصبية التي يرسلها الجهاز العصبي، ومن أهمّ الأجهزة التي تتأثر في جسم الإنسان بهذا الأمر الجهاز العضليّ، بحيث تتوقّف قدرته على استقبال هذه الإشارات العصبية، وبالتالي تحد من أيّ نشاط عضلي، فعند تعرض العضلات لصدمة كهربائيّة تنقبض بشكل لا إراديّ وتمنع الحركة تماماً، فإذا ما أمسك شخص ما بجسم موصل للكهرباء، فإنّ عضلات الساعد المسؤولة عن ثني الأصابع تنقبض بشكل أقوى من عضلات الساعد المسؤولة عن مدّ الأصابع، مما يجعل الضحيّة ممسكاً بالموصل الكهربائي إذا كان سلكاً أو غيره، وغير قادر على تركه مما يفاقم الإصابة وخطورتها، ولن يستطيع المصاب أبداً الابتعاد إلّا إذا تمّ فصل التيّار الكهربائيّ عن جسمه، وقد يؤدي التعرض لصدمة كهربائية إلى الاختناق أو الموت لأنّ تأثير الصدمة الكهربائية يصل إلى عضلة القلب، وعضلة الحجاب الحاجز المتحكّمة بالرئتين، ويمكن أن يوقفهما تماماً[16].

4.1.8.1 التأثيرات على القلب

يتأثّر القلب بشكل مباشر عند التعرض لصدمة كهربائية، حيث يبحث التيار في طريقه عن أضعف نقاط مقاومة في الجسم وهي الأوعية الدموية والأعصاب، فالأوعية الموجودة في الجسم أفقياً وعمودياً قد توصِل التيار الكهربائي إلى القلب وتؤدي إلى إصابته، كما تُحدِث الانقباضات الشديدة في القلب عدم انتظام في نبضاته وبالتالي حدوث ما يُسمّى الرجفان البطيني (Ventricular Fibrillation)، والذي عادة ما يكون قاتلاً لأنّ جميع خلايا عضلة القلب تتحرك بشكل مستقل ودون فعالية، ولن يستطيع القلب تنظيم نبضاته، إلّا في حال تمّ استخدام جهاز مزيل الرجفان (Defibrillator) لتنظيم النبضات وإنقاذ الضحية، ويُمكن أن يؤدي التيار الذي يزيد على 200mA إلى توقف عضلات القلب عن الحركة، حتّى ولو كان التعرّض لهذا التيّار خلال أجزاء من الثانية، وفي حال وصول تيار كهربائيّ لمقدار 4A، فإنّ ذلك يسبب شللاً كاملاً في عضلة القلب ولن يستطيع ضخ الدم نهائياً، أمّا وصول تيّار ذو مقدار 5A إلى القلب فهذا يعني احتراق أنسجة القلب تماماً[18].

2.8.1 مخاطر الكهرباء على البيئة

تُعدّ الكهرباء أحد أشكال الطاقة النظيفة وآمنة الاستخدام نسبياً، وعلى الرغم من ذلك فإنّ لها تأثيرات سلبيّة عديدة على البيئة في عمليات نقلها وتوليدها، ومن هذه الآثار السلبية ما هو واضح للعين كالضباب الدخاني، هناك آثار أخرى لا يُمكن ملاحظتها بالعين المجردة، لكنها تضرّ بالبشر والحيوانات والنباتات

المختلفة، يؤدي توليد الطاقة الكهربائية في محطات التوليد إلى انطلاق انبعاثات عديدة ضارّة على البيئة، وتنقسم إلى انبعاثات صلبة، سائلة، غازية وأخرى مشعّة لها آثار بصرية سلبية، حيث يشوّه وجود محطات التوليد وخطوط النقل المنظر العام وقد يؤدي إلى حدوث الضوضاء، ويوجد أنواع عديدة من محطات توليد الطاقة تتفاوت في حجم آثارها وأضرارها على البيئة، فمثلاً تطلق محطات الكهرباء التي تعمل بالوقود الأحفوري العديد من الانبعاثات الغازية السامة كأكاسيد الكبريت والنيتروجين، وأول وثاني أكسيد الكربون، والهيدروكربونات، وانبعاثات صلبة كالأغبرة والرماد التي تبقى عالقة في الهواء، وهذا ما سنتطرق له لاحقاً، أمّا محطات الطاقة التي تعمل باستخدام الطاقة النووية فإنّ جميع انبعاثاتها الصلبة والسائلة والغازية هي انبعاثات مشعّة شديدة الضرر على البيئة تؤثر أيضاً خطوط نقل الكهرباء والبنية التحتية المستخدمة في توزيع الكهرباء على البيئة المحيطة بها، فأبراج الكهرباء وخطوطها الممتدة تشوّه المشهد البصري، كما تؤثّر في الغطاء النباتي والحياة البريّة إذا كانت هذه الأبراج على مقربة منها، لهذا تعمد بعض المناطق الحضرية إلى مدّ خطوط الكهرباء تحت الأرض، الأمر الذي يزيد من التكلفة المادية بالتأكيد[19].

9.1 خاتمة

في الختام، يظهر أن الكهرباء ليست مجرد ظاهرة في حياتنا اليومية، بل هي عنصر حيوي يشكل أساسًا للتقدم التكنولوجي وتحسين جودة حياتنا، من خلال فهم عمومياتها وأنواعها نجد أنها تتراوح بين أبسط الظواهر وأعقدها، مما يسهم في تلبية احتياجاتنا المتزايدة، بينما يسهم نقلها بفعالية في توصيل الطاقة إلى مختلف المناطق، كما يجب ألا نتجاهل مخاطرها المحتملة، لذا يتعين علينا الاستمرار في البحث عن حلول مستدامة وفعّالة لتحسين استخدامنا للكهرباء وضمان سلامتنا وأمان البيئة في الوقت ذاته.

الفصل الثاني

مصادر الكهرباء

1.2 مقدمة

تعتبر الكهرباء من أبرز الابتكارات التي غيرت وجه الحياة البشرية، حيث أصبحت لا غنى عنها في معظم جوانب حياتنا اليومية، حيث يعتمد العالم على مصادر متنوعة لتوليد الطاقة الكهربائية، تتنوع بين الحديثة والتقليدية. إن معرفة مصادر الكهرباء وكيفية توليدها يعد أمرًا حيويًا لضمان استدامة الإمداد الكهربائي والحفاظ على بيئتنا.

في هذا الفصل نقوم بتسليط الضوء على مختلف مصادر الكهرباء مثل الطاقة الشمسية، طاقة الرياح والطاقة المائية، بالإضافة إلى الغاز الطبيعي، الفحم والنفط، كما نتعرف على التقنيات المستخدمة في استخراج الطاقة وتحويلها إلى تيار كهربائي.

2.2 الوقود الأحفوري

يعرف الوقود الأحفوري (Fossil fuels) بأنّه مواد أصلها نباتات وحيوانات متحللة دُفنت تحت طبقات الصخور والرواسب لآلاف السنين، وتحولت فيما بعد إلى مواد غنية بعناصر الكربون والهيدروجين، حيثُ تشكّل عمليّة حرقها مصدرًا من مصادر الطاقة التي تُستخدم في قطاعات التدفئة وتوليد الكهرباء والصناعة والنقل. ويشتمل الوقود الأحفوري على عدّة أنواع أشهرها، الغاز الطبيعي، الفحم والنفط،[20] وتفصيل كل منها على النحو الآتي:

1.2.2 الغاز الطبيعي

1.1.2.2 تعريف الغاز الطبيعي

يُعرف الغاز الطبيعي (Natural Gas) على أنّه مجموعة من الغازات الغنية بمركبات الهيدروكربون أبرزها غاز الميثان، النيتروجين وثاني أكسيد الكربون، والذي يتواجد في طبقات باطن الأرض إلى جانب أنواع الوقود الأحفوري الأخرى كالنفط والفحم، تشكّل الغاز الطبيعي قبل ملايين السنين جراء دفن المادة العضوية وتعرّضها للحرارة والضغط العاليين، يتمُّ استخراجه وتنقيته ومن ثُمَّ حرقه لتوليد البخار الذي يستخدم لتدوير التوربينات وإنتاج الكهرباء[21].

2.1.2.2 تاريخ اكتشاف الغاز الطبيعي

أُكتُشِفَ الغاز الطبيعي عام 1626م في الولايات المتحدة الأمريكية، عندما لاحظ المستكشفون الفرنسيون أنّ سُكان أمريكا الأصليين يُشعلون الغازات التي كانت تتسرب من داخل بحيرة إري، وفي عام

1821م حفر ويليام هارت أول بئر لاستخراج الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة الأمريكية، وتحديداً في منطقة فريدونيا داخل ولاية نيويورك، ثم أُسّست أول شركة أمريكية لاستخراج وتوزيع الغاز الطبيعي باسم شركة فريدونيا غاز لايت (Fredonia Gas Light)[22].

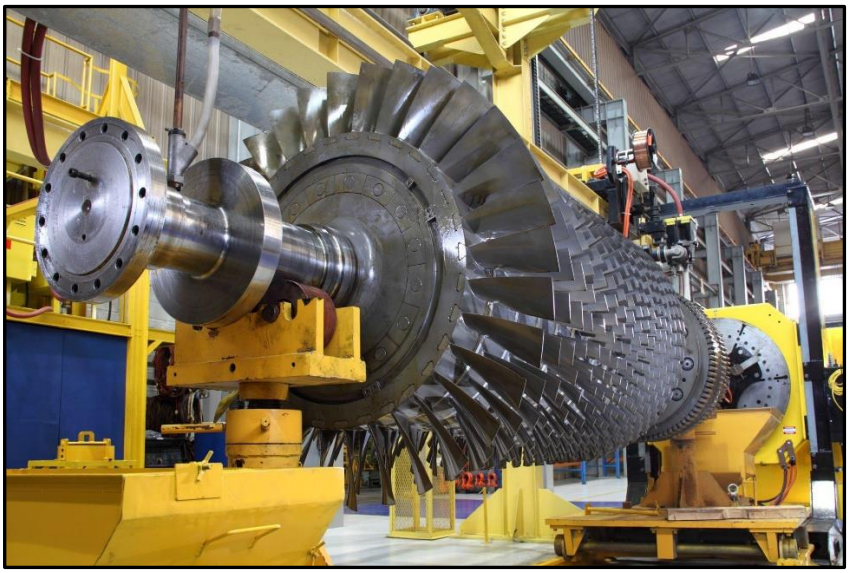
3.1.2.2 توليد الكهرباء باستخدام الغاز الطبيعي

يُستخدم الغاز الطبيعي في العديد من المحطات الكهربائية كوقود للاحتراق، فمحطات الغاز الطبيعي تتمتّع بسهولة بنائها وكفاءة إنتاجها للكهرباء، يتم تحريك توربينات الغاز مباشرة بواسطة الغازات التي تنتج عن عملية الاحتراق[22].

الشكل 1.2: محطة لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام الغاز الطبيعي.

يتم توجيه الغاز الساخن الناتج عن عملية الاحتراق باتجاه شفرات التوربينات، مما يؤدي إلى تحريكها بشكل سريع، بعدها يتم تحويل الحركية الدورانية لشفرات التوربينات إلى حركة دورانية لعمود المحرك (مولد الكهرباء) المتصل بها، بمجرد دوران عمود المحرك يتم توليد الكهرباء في المولد الكهربائي المتصل بتلك التوربينات.

تتم هذه العملية بكفاءة عالية، مما يجعل محطات الغاز الطبيعي تولد كميات كبيرة من الكهرباء لتلبية احتياجات الشبكة الكهربائية.



الشكل 2.2: توربينات الغاز.

2.2.2 الفحم

1.2.2.2 تعريف الفحم

الفحم عبارة عن صخر أسود أو بني اللون قابل للاشتعال والاحتراق، وعند احتراقه فإنه يعطي طاقة على شكل حرارة، ويمكن استعمال هذه الحرارة الصادرة عن هذا الاحتراق في تدفئة المنازل، وفي عمل منتجات عديدة مختلفة، ولكن الاستخدام الأساسي لهذه الحرارة هو إنتاج الكهرباء، وتعطي مصانع إنتاج الطاقة باحتراق الفحم الحجري ثلثي الكهرباء المستهلكة في العالم.

الشكل 3.2: فحم حجري.

2.2.2.2 تاريخ اكتشاف الفحم

يعود تاريخ استخراج الفحم الحجري أو تعدين الفحم إلى آلاف السنين، إذ وُثِق وجود مناجم قديمة للفحم الحجري في كل من الصين القديمة، والإمبراطورية الرومانية، أصبح الفحم الحجري مهمًا في الثورة الصناعية في القرنين التاسع عشر والعشرين.

3.2.2.2 توليد الكهرباء عن طريق الفحم

يلعب استخدام الفحم في توليد الكهرباء دوراً حيويّاً في مُعظم دول العالم، حيث تغطي محطات الطاقة التي تعمل على الفحم نحو 38% من الاحتياجات العالمية للكهرباء، وتزيد هذه النسبة عن ذلك في بعض الدول في العالم، ويتمُّ عادة استخدام الفحم البخاري (Steam Coal) لتوليد الكهرباء عبر الخطوات الآتية[23]:

- طحن الفحم إلى مسحوق ناعم جداً لزيادة مساحة سطحه وتسريع عملية الحرق.
- ضخ مسحوق الفحم في الغرف المخصصة للاحتراق في المرجل(غلاية) (Boiler) ليتمُّ حرقه على درجات حرارة مرتفعة جداً، لتحويل الغازات الساخنة والطاقة الحرارية الناتجة عن المياه داخل الأنابيب في بطانة المرجل إلى بخار.
- تمرير البخار ذي الضغط المرتفع إلى توربينات موصولة بمُولّد كهربائي، ليسبّب البخار دوران محور هذا التوربينات بسرعة كبيرة، وبالتالي تولّد الكهرباء نتيجة دوران اللفائف السلكية المكوّنة للمولّد الموصول بمحور التوربينات والموجود داخل مجال مغناطيسي قوي.

3.2.2 النفط

1.3.2.2 تعريف النفط

يعرّف النفط (Oil) على أنّه سائل يتشكّل نتيجة تحلل المواد العضوية في باطن الأرض على مدى ملايين السنين، وهو أحد موارد الطاقة غير المتجددة، والذي يمر بعمليات تكرير تهدف إلى الحصول على أنواع الوقود المُختلفة منها البنزين، الكيروسين وغاز النفط المُسال، وما ينتُج عن التقطير مثل الديزل ووقود الطائرات، إضافة إلى وقود المخلّفات المُستخدم في قطاعي الصناعة والكهرباء[24].

2.3.2.2 تاريخ اكتشاف النفط

في عام 1875، اكتشف ديفيد بيتي النفط الخام في منزله في وارن–بنسلفانيا، وقد أدى ذلك إلى افتتاح حقل برادفورد النفطي، الذي أنتج 77% من إمدادات النفط العالمية بحلول ثمانينيات القرن التاسع عشر، مع ذلك وبحلول نهاية القرن التاسع عشر كانت الإمبراطورية الروسية وخاصة شركة برانوبل في أذربيجان الرائدة عالميًا في إنتاج النفط.

3.3.2.2 توليد الكهرباء باستعمال النفط

يُحرق النفط تحت ضغط محدد بهدف إنتاج غازات العوادم الساخنة التي تستخدم في تحريك توربينات الاحتراق (combustion turbines) وبالتالي توليد الطاقة الكهربائية، كما هو معمول به في استغلال أنواع الوقود الأحفوري الأخرى كالغاز الطبيعي والفحم[24].

3.2 الطاقة الشمسية

1.3.2 تعريف الطاقة الشمسية

تعني الطاقة الشمسية الضوء والحرارة الناتجين عن الشمس، واللذين قام الإنسان بتسخيرهما لصالحه منذ العصور القديمة. استُخدمت مجموعة متنوعة من الوسائل لاستغلال هذه الطاقة، وتتطور هذه الوسائل باستمرار. تُعتبر الطاقة الشمسية المصدر الرئيسي لجميع أشكال الطاقة وأكثرها توزيعًا وانتشارًا على نطاق واسع، ويمكن الاستفادة منها في معظم المناطق، تُستخدم في مجالات متنوعة مثل الطهي وتسخين المياه في المنازل، ويمكن تحويلها أيضًا إلى كهرباء[25].

2.3.2 تاريخ استخدام الطاقة الشمسية

الطاقة الشمسية طاقة قديمة الاستعمال ترجع إلى ما قبل الميلاد، حيث استخدم أرخميدس المرايا لتركيز أشعة الشمس على الأسطول الروماني وإحراقه قرب مدينة سيراكوس في عام 212 ق.م، كما استُخدمت الطاقة الشمسية خلال القرن العشرين حيث شهد هذا القرن أكبر حركة تطور في تطبيقات الطاقة الشمسية وصناعتها. في عام 1912، جرت أولى محاولات بناء محطة شمسية في القاهرة باستخدام مرايا قابلة للتحريك لتركيز أشعة الشمس وإنتاج قوة قدرها 100 حصان، مما فتح آفاقًا جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسية، وفي عام 1954 أعلنت شركة بيل للهواتف عن إنتاجها للخلايا الشمسية التي تُصنع من السيليكون وتقوم بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية بشكل مباشر[26].

3.3.2 توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية

يتم استخدام الخلايا الشمسية وذلك لالتقاط أشعة الشمس مباشرة عن طريق ظاهرة التأثير الضوئي والتي تعتمد على وجود أشباه موصلات مربعة الشكل، مكونة من طبقات رقيقة من السيليكون ومواد أخرى، وعندما تصلها أشعة الشمس تبدأ التفاعلات الكيميائية داخل الخلية بتحرير إلكترونات تولد تياراً كهربائياً [27].

الشكل 4.2: نظام خلايا كهروضوئية.

4.2 طاقة الرياح

1.4.2 تعريف طاقة الرياح

تُعرَّف طاقة الرياح بأنها الطاقة التي تُستَمد من حركة الهواء أو الرياح، حيث يتم تحويل حركتها إلى أشكال أخرى من الطاقة، ويتم ذلك بشكل أساسي باستخدام المراوح والعنفات مثل إدارة الطواحين. يتم أيضا تحويل هذه الحركة إلى طاقة كهربائية، مما يُمكن من استخدامها بسهولة وفعالية[28].

2.4.2 تاريخ استخدام طاقة الرياح

لقد استخدمت طاقة الرياح منذ آلاف السنين في طحن الحبوب والري وبعض التطبيقات الميكانيكية الأخرى، كما أن هنالك مؤشرات تفيد بأن طواحين الهواء قد استخدمت من قبل البابليين في العراق، وفي الصين القديمة في الفترة التي تتراوح ما بين 1700 إلى 2000 ق.م انتشرت طواحين الهواء في أوروبا منذ

القرن الثاني عشر حيث وصل عددها في عام 1750م إلى أكثر من 8000 طاحونة في هولندا وأكثر من 10 آلاف طاحونة في إنجلترا[28].

3.4.2 توليد الكهرباء بطاقة الرياح

تُستَخدم طاقة الرياح في توليد الكهرباء عن طريق تحويل الطاقة المحركة الموجودة في الرياح لطاقة كهربائية وتسمى الماكينات المسؤولة عن هذه العملية بتوربينات الرياح،[28] تتم عملية توليد الكهرباء من الرياح كما يلي:

- تدفع الرياح الشفرات أو المرواح الموجودة على توربينات الرياح للدوران.
- يتحرك المحور المتصل بالشفرات نتيجة للحركة الدورانية للشفرات.
- يتصل المحور بمولد كهربائي، والذي يقوم بتحويل الحركة الدورانية إلى طاقة كهربائية.
- يتم توجيه الكهرباء المتولدة من المولد إلى نظام الشبكة الكهربائية للاستخدام.

الشكل 5.2: توربينات الرياح.

5.2 الطاقة النووية

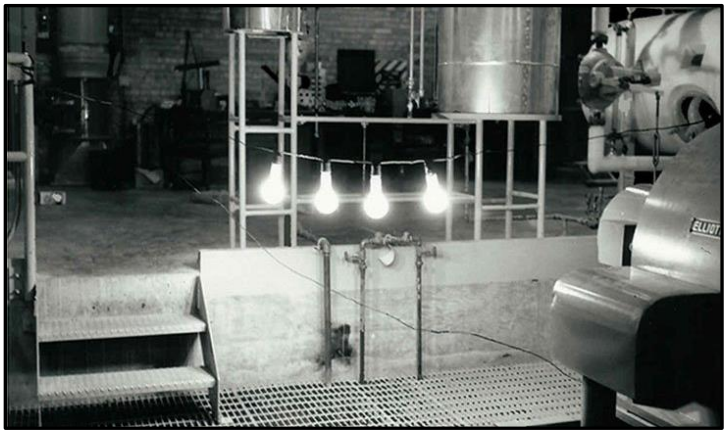
1.5.2 تعريف الطاقة النووية

الطاقة النووية هي الطاقة التي يتم توليدها من خلال تحولات النوى الذرية. هناك نوعان رئيسيان من التفاعلات النووية التي تولد هذه الطاقة، أولاً التفاعل الانشطاري، حيث تنشق نواة ذرة ثقيلة إلى نواتين

أخف، مصاحبًا ذلك بإطلاق كميات هائلة من الطاقة، يستخدم هذا التفاعل في مفاعلات الطاقة النووية. ثانيًا، التفاعل الاندماجي، حيث يحدث اتحاد نواتين خفيفتين لتكوين نواة أثقل، مصاحبًا ذلك بإطلاق طاقة أيضًا. يحدث هذا التفاعل في الشمس والنجوم. تُستخدم الطاقة النووية في مختلف المجالات بما في ذلك توليد الكهرباء والتطبيقات العلمية[29].

2.5.2 تاريخ استعمال الطاقة النووية

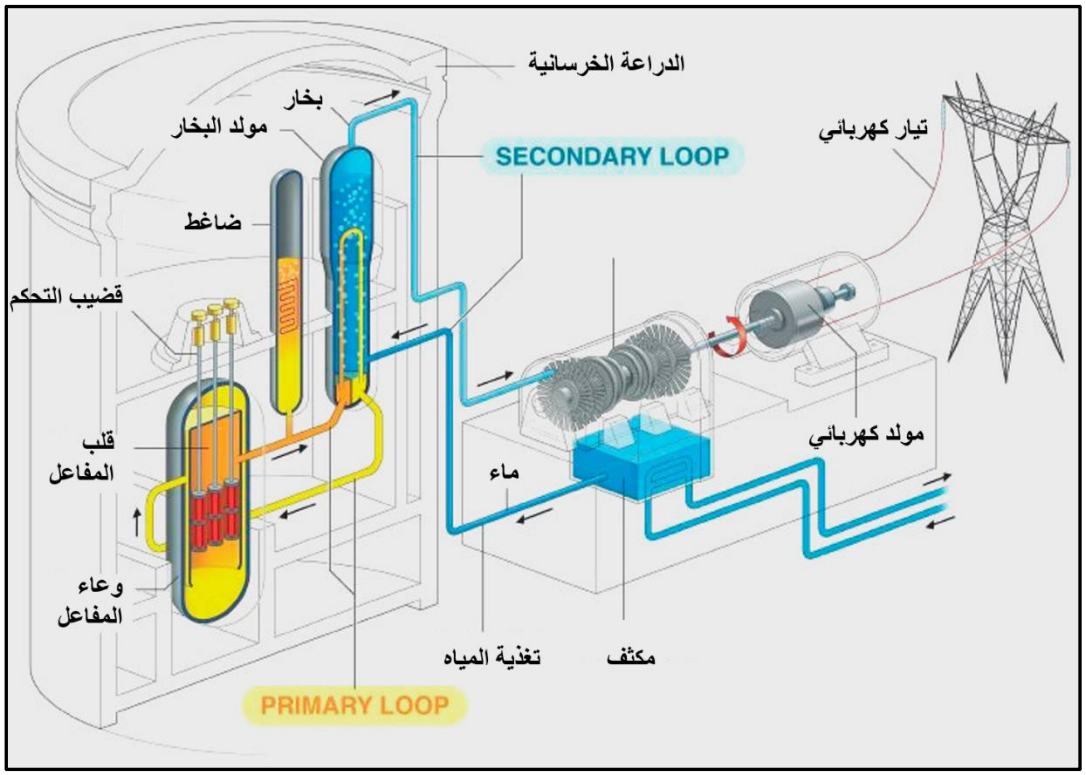
بدأت أولى محطات الطاقة النووية التجارية في العمل خلال الخمسينيات، ففي عام 1951 نجح أول مفاعل تجريبي في إنتاج الطاقة الكهربائية في ولاية أيداهو بالولايات المتحدة، وأضاء حينها سلسلة مكونة من 4 مصابيح، وفي عام 1954 قامت روسيا بتوليد الكهرباء من أول مفاعل نووي لديها بقدرة 5MW في أوبنينسك، وكان ذلك لأغراض تجارية [30].



الشكل 6.2: إضاءة سلسلة ال4 مصابيح عام 1951.

3.5.2 توليد الكهرباء بالطاقة النووية

ينتج عن سلسلة التفاعلات داخل حاوية المفاعل حرارة هائلة تؤدي إلى تسخين المياه لتصل إلى درجة حرارة كبيرة جدًا. غير أن هذه المياه لا تتمكن من الغليان بسبب الضغط العالي في النظام، وإنما تتدفق هذه المياه الساخنة المضغوطة عبر الآلاف من الأنابيب الحلقية، بينما يتدفق تيار ثاني من الماء حول الأنابيب من الخارج داخل مولد البخار. ويكون هذا الماء تحت ضغط أقل، وبالتالي فإن حرارة الأنابيب تحول الماء إلى بخار، ثم ينتقل البخار عبر الأنابيب إلى التوربين فتدار شفراته، ثم تقوم شفرات التوربين بتدوير عمود التوربين المتصل بالمولد، ومن ثم يدور عمود المولد داخل مجموعة من المغناطيسات، مما يؤدي إلى تولّد التيار الكهربائي. تتم هذه العملية كما هو موضح في المخطط الآتي:



الشكل 7.2: شرح عملية توليد الكهرباء باستعمال الطاقة النووية.

6.2 الطاقة الكهرومائية

1.6.2 تعريف الطاقة الكهرومائية

الطاقة الكهرومائية هي الطاقة المستمدة من حركة المياه المستمرة والتي لا يمكن أن تنفذ، وهي من أهم مصادر الطاقة المتجددة، وبمعنى آخر هي الاستفادة من حركة المياه لأغراض يومية. فقد تم استخدام الطاقة المائية قبل انتشار توفر الطاقة الكهربائية التجارية، وذلك في ري وطحن الحبوب وصناعة النسيج[25].

2.6.2 تاريخ استخدام الطاقة الكهرومائية

كانت طاقة المياه من أول أنواع الطاقة التي تعلم الإنسان استخدامها منذ حوالي 2000 سنة حيث اخترع الإنسان الناعورة وهي عبارة عن عجلة ذات أرياش حول إطارها وعندما يرتطم الماء المتحرك بهذه الأرياش تُدَار العجلة، مع التطور الصناعي تجلت أهمية الماء في انتشار الطاقة مما أدى إلى اختراع مختلف الوسائل

لاستغلال هذه الطاقة، وظهرت أولى المنشآت الصناعية التي تستعمل مجاري المياه كالأنهار الصغيرة لتشغيل الآلات، وظهرت أولى التوربينات كما أُنشِأت أولى المحطات الكهربائية، مع حلول النصف الثاني من القرن التاسع عشر اعتبرت الطاقة الحركية للماء مصدرا أساسيا لإنتاج الطاقة الكهربائية[25].

الشكل 8.2: ناعورة.

3.6.2 توليد الكهرباء باستعمال الطاقة المائية

تسمى عملية تولّيد الطاقة الكهربائية عن طريق الماء بالكهرومائية (Hydroelectric) والتي تتم بالاستفادة من جريان الماء بمسارات معينة عبر أجهزة توليد الطاقة الكهربائية كاستغلال جريان الأنهار أو القنوات عبر السدود، ويتم ذلك بإنشاء سد لرفع مستوى المياه النهرية خلفه ثمَّ إنشاء قنوات في السد من الأعلى إلى الأسفل نسبياً وتثبيت توربينات في نهاية القناة، ليتم فتح المعبر والسماح للمياه بالتدفق عبر القناة مروراً بالتوربينات التي تكتسب طاقة ميكانيكية من جريان الماء عبرها ثمّ نقل تلك الطاقة عبر محور إلى مولد الطاقة الكهربائية الذي يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، ومن الممكن أيضاً استغلال ظاهرة المد والجزر لتوليد الطاقة الكهربائية،[31] و هذا ما سوف نتطرق إليه في الفقرة الموالية.

الشكل 9.2: سد طاقة كهرومائية.

7.2 طاقة المدّ والجزر

1.7.2 تعريف المد والجزر

يُعرف الارتفاع والانخفاض المنتظم لمياه المحيط بالمد والجزر (Tides)، حيث تحدث هذه الظاهرة الطبيعية على طول السواحل، إذ يرتفع الماء ببطء فوق الشاطئ ثم يتراجع ببطء مرة أخرى، وعندما ترتفع المياه إلى أعلى مستوى لها، وتغطي جزءًا كبيرًا من الشاطئ ينشأ المد، فيما ينشأ الجزر عند انخفاض الماء وتراجعه إلى أدنى مستوياته[32].

2.7.2 كيفية حدوث ظاهرة المد والجزر

تنشأ هذه الظاهرة نتيجةً لتأثير قوة الجاذبية، حيث تنجذب الأرض إلى الشمس والقمر، ولكنّ قوة جذب القمر للأرض تؤثر بشكل أكبر عليها، كون القمر أقرب للأرض من الشمس، ومن هنا فإنّه عند انجذاب الأرض للقمر، فإنّ هذه القوة تؤدي إلى سحب الأرض باتجاهها مما يعني تحرّك موجات البحار للأعلى في الجانب القريب من القمر وحدوث المد، وفي ذات الوقت، فإنّ تأثير قوة جاذبية القمر تقل من الجهة المقابلة وهو ما يؤدي إلى حدوث الجزر. تجدر الإشارة إلى أنّ دوران القمر حول الأرض في مسار منتظم يؤدي إلى حدوث نمط منتظم للمد والجزر ومن ناحية أخرى، فإنّ هناك دوراً تلعبه الشمس في هذه

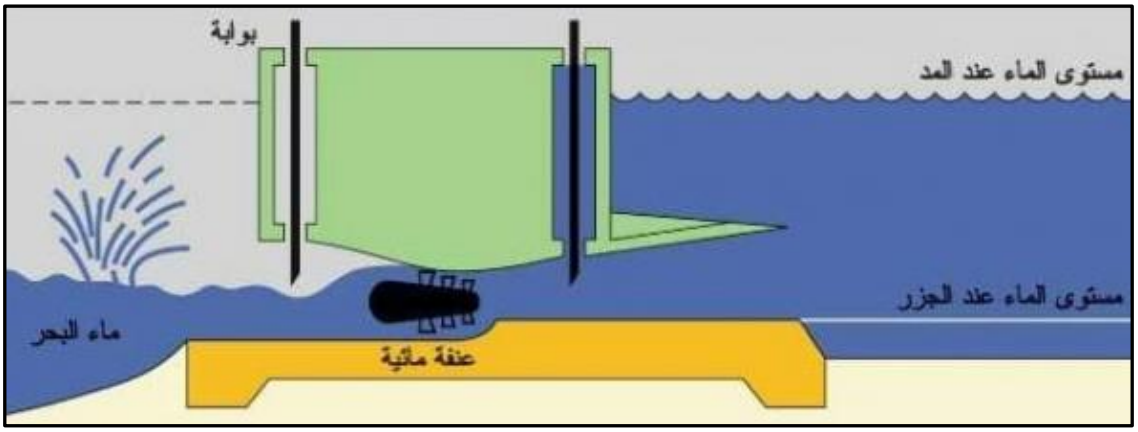
الظاهرة خاصةً عندما تترتب الأرض والقمر والشمس على خط واحد في أوقات اكتمال القمر، حيث تكون موجات المد والجزر في أقصى حالاتها، وتسمّى هذه الظاهرة بمد الربيع، ويحدث ذلك نتيجةً لتضاعف قوة الجاذبية من جهة، وانخفاضها بشكل كبير في الجهة المقابلة[32].

3.7.2 توليد الكهرباء من ظاهرة المد والجزر

يمكن توليد الطاقة بواسطة المد والجذر بطريقتين[33]:

1.3.7.2 الطريقة الأولى (الطريقة الشاطئية)

وهي طريقة بناء السدود كما هو منفذ في محطة Rance بفرنسا والتي بُنيت عام 1966 وتعمل بقوة 240MW. بُني هذا السد للتحكم في التيارات الناتجة عن المد والجذر وتوجيه هذه التيارات بطريقة تمر في فتحات التوربينات أو المراوح وبالتالي تدويرها والحصول على الطاقة، وقد بُني هذا السد عند مصب نهر الرانس. تُنصب هذه المراوح تحت سطح المياه في فتحات وبفعل التيارات المائية تدور هذه التوربينات وعبر ناقل الحركة نقوم بمضاعفة عزم الدوران ومن ثم نستفيد من هذا العزم لتحريك المولد الذي وبفعل الحقل المغناطيسي يقوم بتوليد الطاقة الكهربائية[33].



الشكل 10.2: سد بوابات للتحكم في تيارات المد والجزر.

2.3.7.2 الطريقة الثانية (الطريقة البعيدة عن الشاطئ)

وتتم هذه الطريقة على مبدأ تركيب عنفات بعرض البحر بعيداً عن اليابسة ولها عدة نماذج منها العنفات التي تثبت على أبراج، يعتمد هذا النموذج على تثبيت مروحة أو مروحتان على برج متين بحيث تكون تلك المراوح تحت سطح الماء، وبنفس الطريقة المشروحة أعلاه تتحول طاقة حركة المروحة بواسطة

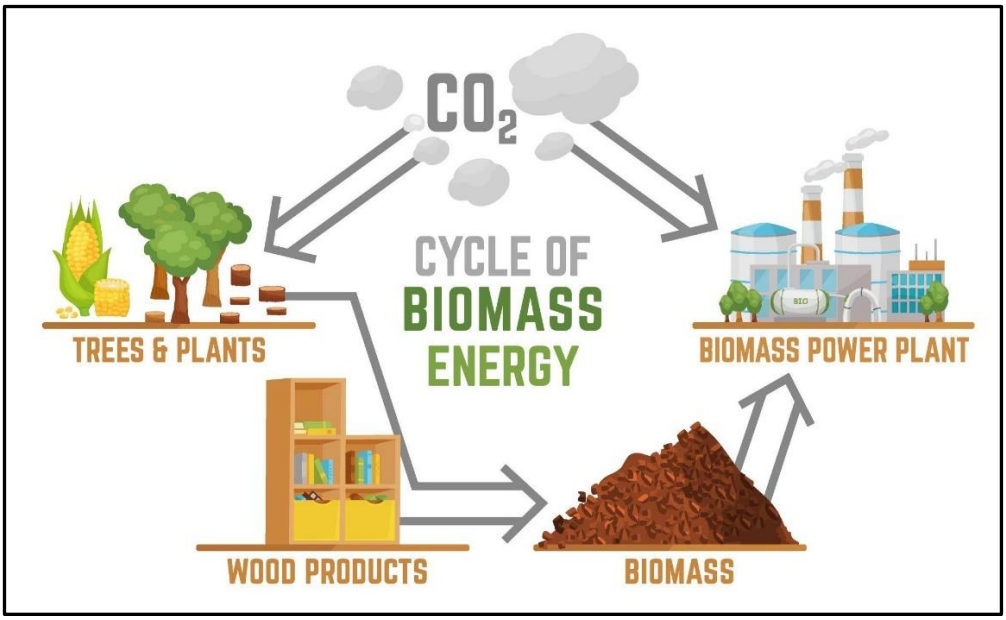
المولد الكهربائي إلى كهرباء. والصورة توضح كيفية تثبيت المروحة على البرج وهي لمحطة تجريبية بُنيت عام 2002 بشمال إيرلندا وقوتها 300KW تقريباً، ونلاحظ في الصورة أن المروحة قد رُفعت فوق سطح الماء لإجراء أعمال الصيانة[33].

الشكل 11.2: عنفة مثبتة على برج بعرض البحر.

8.2 طاقة الكتلة الحيوية

1.8.2 تعريف طاقة الكتلة الحيوية

طاقة الكتلة الحيويّة (Biomass Energy) هي الطاقة الناتجة من المخلفات العضوية، الحيوانية، النباتية، البشرية، الزراعية والصناعية...الخ، كل هذه المواد تستخدم في إنتاج الطاقة سواء كانت هذه المخلفات صلبة أم سائلة فهي قابلة للمعالجة باستخدام عدة طرق أهمها:" الهضم البكتيري" أو "الانحلال الحراري". ويعطي كل أسلوب منتجاته الخاصة به من الإيثانول الذي يعد واحداً من أفضل أنواع الوقود الحيوي المستخلصة من الكتلة الحيوية، وهو يستخلص من محاصيل الذرة أو السكر، وتجري التجارب باستمرار لإيجاد وسائل اقتصادية لاستخدام الكتلة الحيوية في توليد الكهرباء[34].



الشكل 12.2: دورة طاقة الكتلة الحيوية.

2.8.2 تاريخ استغلال طاقة الكتلة الحيوية

منذ فجر التاريخ استخدم الإنسان الطاقة الحيوية في أبسط صورها وأشكالها، إذ كان يحرق الأخشاب والمخلفات الحيوانية وأوراق الأشجار لطهي طعامه وتسخين مائه وتدفئة منزله، وللإضاءة ليلاً وإخافة الحيوانات الكاسرة، ومع التقدُّم التقني بقيت الطاقة الحيوية مُحافظةً على مكانتها، إذ إن كثيراً من المجتمعات الريفية في البلاد النامية لا تزال تعتمد على الطاقة الحيوية بشكل مباشر كما كان يفعل الإنسان قديماً، فالكتلة الحيوية تنتج 36 %من الطاقة المستخدمة في بعض البلاد النامية، كما أن كثيراً من سكان المناطق الريفية في الدول الصناعية ما زالوا يعتمدون على هذا المصدر من الطاقة لتدفئة منازلهم وغيرها من الاستخدامات المهمة، و شهد القرن الماضي محاولات تطوير أنواع جديدة من الوقود الحيوي كان يفترض فيها أن تكون قابلة للحلول محل الوقود الأحفوري ، غير أن التحديات العملية التي يواجهها هذا الطموح لا تزال كثيرة و ضخمة[35].

3.8.2 توليد الكهرباء باستغلال الكتلة الحيوية

تتم عملية توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الكتلة الحيوية عبر عدة خطوات، في البداية يتم جمع المواد الحيوية مثل الحطب أو قش الأرز، ومن ثم يتم التحضير لفصل المكونات غير الضرورية، ثم يتم التحويل الحيوي لهذه المواد، حيث يتم تحويلها إلى غازات مثل الغاز الطبيعي باستخدام الهضم البكتيري أو الانحلال الحراري.

في الخطوة الأخيرة يتم استخدام الغازات المتولدة لتوليد الطاقة، يمكن تحويل هذه الغازات إلى طاقة حرارية أو طاقة كهربائية باستخدام محطات توليد الطاقة المناسبة، تتيح هذا العملية الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة والحفاظ على البيئة، حيث يتم توليد الكهرباء بطريقة صديقة للبيئة باستخدام الموارد الحيوية المتاحة.

9.2 الطاقة الجيوحرارية

1.9.2 تعريف الطاقة الجيوحرارية

تُعرّف الطاقة الجيوحرارية بأنّها الحرارة الموجودة داخل الأرض والتي تحملها المياه الساخنة أو بخار الماء إلى سطح الأرض، وللطاقة الحرارية الأرضية فوائد عديدة، مثل تطبيقات التدفئة والتبريد، إلى جانب اعتبارها شكلاً من أشكال الطاقة المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية[36].

2.9.2 تاريخ استخدام الطاقة الجيوحرارية

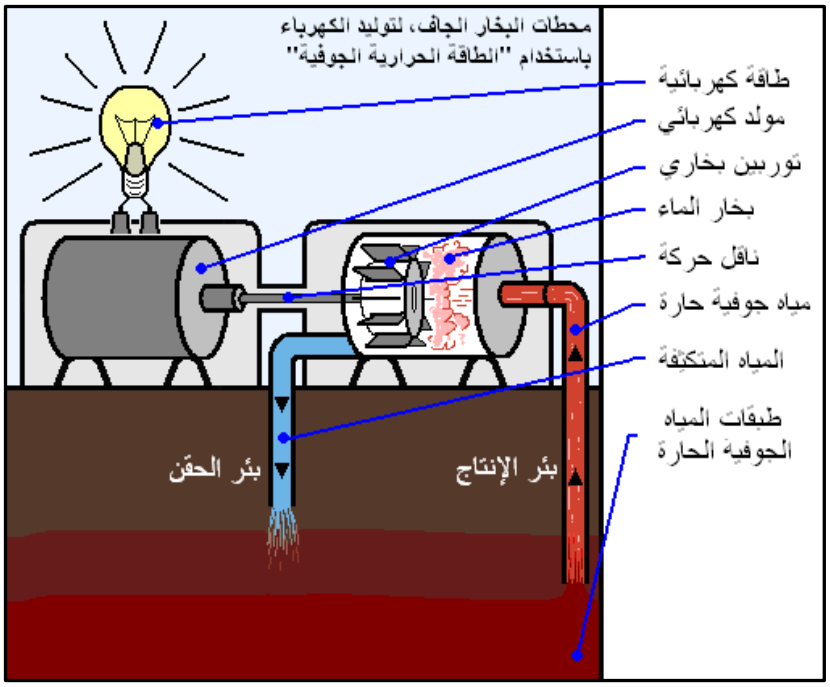
تم استخدام الحرارة الجوفية منذ آلاف السنين عندما استخدمت القبائل الينابيع الساخنة للاستحمام والطبخ. تعتبر ايطاليا من أوائل الدول التي استخدمت هذا المصدر عام 1904 حيث تم بناء محطة تستخدم البخار المندفع من باطن الأرض لتوليد الكهرباء، وبعد ذلك شاع استخدام هذا المصدر في العديد من الدول مثل الولايا ت المتحدة وروسيا وألمانيا، اليابان، المكسيك وتركيا، نظرا لأنها طاقة متجددة ونظيفة وغير ملوثة للبيئة[36].

3.9.2 توليد الكهرباء بالطاقة الجيوحرارية

تعتمد محطات الطاقة الجيوحرارية على بخار الماء الناتج من مصادر المياه الساخنة في باطن الأرض، حيث إنّ هذا البخار يُحرّك التوربين البخاري في محطة التوليد وبالتالي يعمل المولّد الكهربائيّ لإنتاج الكهرباء، ولمحطات الطاقة الحرارية الأرضية أنواع مختلفة نذكر منها النوعين التاليين[37]:

1.3.9.2 محطات البخار الجاف

تستخدم هذه المحطات الماء الموجود بشكل طبيعي في الطبقات الأرضية العميقة والموجود تحت تأثير ضغط وحرارة عاليين، فيتم استخراجه بواسطة حفر آبار عميقة فيخرج على شكل بخار ماء بسبب حرارته العالية وبسبب فرق الضغط. يسير هذا البخار في أنابيب ثم يعرض لتوربينات تدور المولدات الكهربائية التي تنتج الطاقة الكهربائية. يضخ الماء المتكثف إلى الأرض عبر بئر آخر يسمى بئر الحقن.



الشكل 13.2: آلية عمل محطات البخار الجاف.

2.3.9.2محطات الدائرة المزدوجة

تستخدم هذه المحطات السوائل الموجودة تحت الأرض ذات درجة غليان مرتفعة حوالي(200°C) يتم ضخها إلى الأعلى حيث تقوم بتسخين الماء ذي درجة غليان عادية (100°C) في أنبوب آخر يمر بمحاذاة الأنبوب الساخن (مبادل حراري). يتبخر الماء الذي تم تسخينه بسبب درجة الحرارة المرتفعة للسائل في الأنبوب الآخر، يحرك البخار توربين المولد الكهربائي ويتكثف فيعود مجددا إلى محاذاة الأنبوب الساخن، ويتحرك بهذه الطريقة في دوران مستمر.

10.2 خاتمة

في ختام دراستنا حول مصادر الكهرباء، يظهر أن الاعتماد المستمر على مصادر الكهرباء غير المتجددة مثل الفحم والنفط يمتلك حدود بيئية واقتصادية معينة، وبغرض عدم تجاوز هذه الحدود يجب البحث المستمر على بدائل نظيفة ومتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لتلبية احتياجات الكهرباء بطريقة صديقة للبيئة. بفضل التطور التكنولوجي وتعزيز الوعي بأهمية الاستدامة، يمكننا بناء مستقبل يعتمد على مصادر الطاقة المتجددة ويحقق توازنًا بين استهلاكنا والمحافظة على البيئة.

الفصل الثالث

المقارنة بين مصادر الكهرباء

1.3 مقدمة

تمتلك مصادر الكهرباء دورًا حيويًا في حياتنا اليومية وفي تطور الحضارة البشرية بشكل عام، تعتبر تلك المصادر متنوعة ومتعددة، وكل واحدة منها تتمتع بميزاتها الفريدة وتطبيقاتها المختلفة، لذا تعد المقارنة بين هذه المصادر أمرًا هامًا لتحديد أفضل الخيارات المتاحة وتوجيه الجهود نحو تحقيق التنمية المستدامة وتلبية احتياجات الطاقة في المستقبل.

وعليه فإن دراسة المقارنة بين هذه المصادر تشمل عدة جوانب مثل التكلفة، المردودية، التأثير البيئي، سهولة الاستغلال، الوفرة، الحداثة والتطور التكنولوجي، إمكانية التخزين.

2.3 التكلفة

تعتبر تكلفة إنتاج الكهرباء أحد المعايير الرئيسية التي يدرسها المتخصصون في الطاقة، يهدف الجدول التالي إلى توضيح التكاليف المالية المتعلقة بمختلف مصادر الكهرباء.

الجدول 1.3. تكاليف مصادر الكهرباء المختلفة لعام 2020[38]

مصدر الكهرباء	التكلفة بالدولار لكل (MWh)
الطاقة الشمسية	24-96
طاقة الرياح	24-75
الطاقة الكهرومائية	35-85
الفحم	68-166
الغاز	115-221
الطاقة النووية	141-221

تجدر الإشارة إلى أن هذه الأرقام تقريبية، وتعتمد على تقديرات متوسطة عالمية وقد تختلف بناءً على مجموعة من العوامل مثل الموقع الجغرافي والتكنولوجيا المستخدمة.

من خلال الجدول المقدم، يمكن ملاحظة أن هناك تباين في تكاليف مصادر الكهرباء المختلفة لعام 2020، حيث أن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية تظهر كخيارات اقتصادية نسبيًا مع نطاق تكلفة يتراوح بين 24 و96 دولار لكل (MWh)، مما يعكس التقدم التكنولوجي والكفاءة المتزايدة في هذه القطاعات، من ناحية أخرى نجد الفحم والذي بالرغم من كونه مصدرًا تقليديًا للطاقة، يظهر بتكلفة أعلى تصل إلى 166 دولار لكل (MWh)، وذلك راجع للتكاليف المرتبطة بالتخلص من الانبعاثات والتلوث الذي يسببه هذا النوع من المصادر، أما بالنسبة للطاقة النووية والغاز يعتبران ذو تكلفة مرتفعة تصل إلى 221 دولار أمريكي لكل (MWh) مقارنة مع المصادر الأخرى، وهذا طبيعي كون المُفاعل النووي يتطلب استثمارات كبيرة للغاية. هذه الأرقام تبرز الحاجة إلى استثمارات مستمرة في البحث والتطوير لتحسين الكفاءة وخفض التكاليف، خاصةً في مجال الطاقات المتجددة التي تعد مستقبل الطاقة النظيفة والمستدامة.

3.3 المردودية

تُعد مردودية إنتاج الكهرباء من مصادر مختلفة أحد العوامل الحيوية في تقييم استدامة وكفاءة الطاقة، يُكمل الجدول توضيح المردود الكلي لكل نوع من أنواع هذه المصادر.

الجدول 2.3. إجمالي إنتاج الكهرباء لسنة 2021[44]

مصدر الكهرباء	إجمالي الإنتاج (TWh)
الفحم	10244.1
الغاز الطبيعي	6518.5
الطاقة الكهرومائية	4273.8
طاقة متجددة	3657.2
الطاقة النووية	2800.3
النفط	720.3

يمكن الملاحظة من خلال الجدول أن الفحم وبالرغم من اعتباره كمصدر تقليدي إلا أنه يستحوذ على نصيب الأسد كأهم مصدر لتوليد الكهرباء في العالم لسنة 2021، يليه المصدر التقليدي الثاني الغاز الطبيعي والذي اعتمدت عليه الولايات المتحدة بشكل أكبر، أما النفط فيعتبر ذو مشاركة بسيطة مقارنة مع المصادر الأخرى، بالنسبة للطاقة الكهرومائية فقد كانت بارزة الحضور بإجمالي إنتاج مقدر بـ4273.8TWh وفيما يخص الكهرباء المولدة من الرياح والطاقة الشمسية، ارتفعت نسبتها للمرة الأولى على الإطلاق لتتجاوز نظيرتها المولدة من الطاقة النووية.

4.3 التأثير البيئي

يُمثل التأثير البيئي لإنتاج الكهرباء أهم العوامل التي ينبغي مراعاتها عند اختيار مصدر الطاقة، يهدف هذا الجدول لتسليط الضوء على التأثيرات البيئية لمختلف مصادر الكهرباء.

الجدول 3.3. مصادر الكهرباء من حيث التأثير البيئي. [40] [41] [42] [43]

مصدر الكهرباء	التأثير البيئي
الوقود الأحفوري	يسبب تلوثاً كبيراً للهواء بسبب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى مشابهة، التي بدورها تتسبب في كوارث طبيعية مثل ثقب طبقة الأوزون.
الطاقة الكهرومائية	سد وتحويل الممرات المائية، تلوث المسطحات المائية الراكدة وتشكل الطحالب الضارة والتي تعد سامة للبشر والأسماك والثدييات المائية
الطاقة الشمسية	تعتبر منخفضة التأثير البيئي مقارنة بالمصادر الأخرى، ولكن تكمن المشكلة في استخدام هذه الطاقة في تصنيع الخلايا الشمسية التي تتطلب استخدام العديد من المواد الكيميائية الضارة، بالإضافة الى المعادن مثل الكاديوم والرصاص التي تضاف لتحسين الكفاءة الكهربائية، ومن بعد ذلك صعوب التخلص والقضاء التام عليها بعد نهاية عمرها التشغيلي (يتراوح عادةً بين 20 و30سنة)

طاقة الرياح	تأثيرها البيئي أقل نسبياً، لكن تشكل خطراً محدقاً على العديد من المخلوقات الطائرة، والذي يتمثل في موت هذه المخلوقات بسبب دوران التوربينات الهوائية الضخمة، بالإضافة الى الضوضاء التي تنتج عن هذه الأخيرة، لذا فإنه يوصى بعدم بناء هذه التوربينات في المناطق المأهولة بالسكان
الطاقة النووية	إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون، وذلك نتيجة استخدام اليورانيوم كوقود من أجل اكتمال عمليات التفاعل، وأيضاً تلويث المياه المستعملة لغرض تبريد المشعات المولدة للحرارة بسبب الاشعاعات النووية

من خلال الجدول أعلاه، يمكن ملاحظة أن كل نوع من أنواع مصادر الكهرباء المذكورة له تأثير بيئي محدد، وكما يبدو أن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح تمتلكان تأثيرًا بيئيًا أقل نسبيًا مقارنة بالوقود الأحفوري والطاقة النووية. ومع ذلك، لا يمكن تجاهل المشاكل البيئية المحتملة المرتبطة بكل منهما، سواء كان ذلك بسبب عمليات التصنيع أو التأثير على الحياة البرية.

5.3 الوفرة

يهدف هذا الجدول إلى تحليل ومقارنة مستوى وفرة مختلف أنواع مصادر الكهرباء، من خلال الدراسة التي قامت بها منظمة (IRENA)

الجدول 4.3. مصادر الكهرباء من حيث الوفرة[39]

مصدر الكهرباء	الوفرة
الطاقة الشمسية	29%
طاقة الرياح	23%
الطاقة الكهرومائية	18%
الطاقة الجيوحرارية	10%
الطاقة النووية	10%
الوقود الأحفوري	10%

تجدر الإشارة إلى أن هذه الأرقام تقريبية وقد تختلف هذه النسب بشكل كبير بين دولةٍ وأخرى، وذلك بسبب عوامل متعددة مثل التطور التكنولوجي والظروف الجغرافية والمناخية.

يمكن الاستنتاج من خلال الجدول أن الطاقة الشمسية متاحة بشكل متواصل، حيث تتلقى الأرض إشعاعًا شمسيًا يوميًا. ومع ذلك، فإن مستوى وجود الطاقة الشمسية يمكن أن يختلف بناءً على الموقع الجغرافي، ووجود السحب أو الضباب وحسب فصول السنة، أما تيسر طاقة الرياح فيعتمد على المنطقة الجغرافية، ويتم تحليل الرياح المحتملة وفقًا للسجلات المناخية ودراسات الرياح المحلية. أما بالنسبة للطاقة الكهرومائية فهي متوفرة في المناطق التي يتواجد فيها مصادر مياه كافية مثل الأنهار والسدود. ومع ذلك، قد تتأثر وفرتها بتقلبات في مستوى المياه بسبب التغيرات المناخية أو الأنشطة البشرية. في المقابل لا تعتمد الطاقة النووية على العوامل الجغرافية بل تعتمد إتاحتها على متغيرات أخرى مثل السياسة والتشريعات والاستثمارات والتكنولوجيا، أما الوقود الأحفوري فيعتمد تيسره على وجود مصادره الطبيعية مثل النفط والغاز الطبيعي والفحم. قد تتراجع وفرتها مع مرور الزمن نتيجة استنزاف الموارد الطبيعية والتأثيرات البيئية.

بشكل عام، يمكن القول إن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح متاحتان بشكل متواصل على نطاق واسع، في حين يمكن أن يتأثر إيجاد الطاقة الكهرومائية بالعوامل البيئية المحلية وكمية المياه المتاحة، وتعتمد وفرة الطاقة النووية على تكنولوجيا متقدمة للتحكم في التفاعلات الانشطارية، أما تواجد الوقود الأحفوري فيعتمد على عدة عوامل منها العمليات الجيولوجية، تعرض المواد العضوية للضغط و الحرارة..إلخ

6.3 الحداثة والتطور التكنولوجي

تركز هذه المقارنة على كيفية تقدم التكنولوجيا وحداثتها، الخاصة بمختلف مصادر الكهرباء.

الجدول 5.3. مصادر الكهرباء من ناحية الحداثة والتطور التكنولوجي [39]

مصدر الكهرباء	الحداثة والتطور التكنولوجي
الطاقة الشمسية	تكنولوجيا متقدمة ومتجددة، وتطور كبير في الكفاءة وانخفاض في التكاليف
طاقة الرياح	تحسن مستمر في التكنولوجيا وانخفاض في التكاليف، خاصة بالنسبة للرياح البحرية

الطاقة الكهرومائية	تكنولوجيا ناضجة ومستقرة، لكن تشمل تحديات تقنية مستمرة
الطاقة النووية	تكنولوجيا متطورة، مع تحديات تخص الأمان والنفايات النووية القاتلة
الوقود الأحفوري	تكنولوجيا تقليدية، مع تحسينات لزيادة الكفاءة والتقليل من الانبعاثات الضارة

نلاحظ من خلال الجدول أن مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح تشهد تطوراً تكنولوجياً ملحوظاً، مع انخفاض في التكاليف وزيادة في الكفاءة والقدرة، مما يجعلها خيارات جذابة وأكثر استغلالا في المستقبل.

7.3 سهولة الاستغلال

تتفاوت مصادر الكهرباء في سهولة استغلالها بشكل كبير، سندرس من خلال الجدول الآتي هذا الاختلاف بين هذه المصادر.

الجدول 6.3. مصادر الكهرباء من حيث سهولة الاستغلال[39]

مصدر الكهرباء	سهولة الاستغلال
الطاقة الشمسية	سهولة في التركيب والصيانة، مع انخفاض تكاليف التشغيل
طاقة الرياح	تتطلب مواقع جغرافية محددة، لكنها توفر إنتاجية جيدة خاصة في المناطق البحرية

الطاقة الكهرومائية	تحتاج الى بنية تحتية كبيرة، ولكنها توفر طاقة كهربائية مستقرة
الطاقة النووية	صعبة الاستغلال حيث تتطلب تكنولوجيا متطورة ومتقدمة
الوقود الأحفوري	على الرغم من سهولة الاستخدام التقنية، إلا أنها تعتبر صعبة الاستغلال بسبب التأثير البيئي السلبي الذي يترتب عن استخدامها

ومنه من خلال الجدول السابق نرى بأن معظم الطاقات المتجددة تعتبر سهلة الاستغلال وذلك بسبب التوفر الدائم والمستمر لأشعة الشمس والرياح في مناطق معينة، أما بالنسبة للطاقة النووية فتعتبر صعبة الاستغلال كونها تتطلب إجراءات أمان جد صارمة بسبب صعوبة التخزين الآمن للنفايات النووية أما الوقود الأحفوري فيعتبر ذي تأثير بيئي سلبي مما يجعله صعب الاستغلال.

8.3 إمكانية التخزين

تعتبر إمكانية تخزين الطاقة عاملاً حاسماً في قدرة أي مصدر طاقة على تلبية الطلبات المتغيرة على مدار اليوم، سنلاحظ من خلال هذا الجدول تفاوت مصادر الكهرباء في قدرتها على التخزين.

الجدول 7.3. مصادر الكهرباء من ناحية إمكانية التخزين[45]

مصدر الكهرباء	إمكانية التخزين
الطاقة الشمسية	إمكانية تخزين مرتفعة، تكون عادة باستخدام بطاريات الليثيوم أو أنظمة التخزين مثل الخزانات الحرارية، تعتمد مدة التخزين على سعة البطاريات وكفاءتها وهذا يمَكِّن أن يوفر إمكانية تخزين طاقة لفترات طويلة بشكل فعال
طاقة الرياح	إمكانية تخزين متوسطة، بالرغم أنه يمكن تخزين الطاقة الرياحية باستخدام بعض تقنيات التخزين مثل بطاريات الليثيوم، ومع ذلك فإن طاقة الرياح تعتمد بشكل كبير على الظروف الجوية، مما قد يؤدي إلى صعوبة في التنبؤ بتوفر الطاقة للتخزين

الطاقة النووية	إمكانية تخزين منخفضة، حيث أن الطاقة النووية لا تتيح إمكانية تخزين بشكل فعال، حيث تعتمد على التشغيل المستمر للمفاعلات النووية دون إمكانية تعديل مستوى الإنتاج بسرعة وسهولة مما يصَعِّب عملية التخزين
الوقود الأحفوري	إمكانية تخزين منخفضة، حيث تعتمد بشكل كبير على حرق الوقود بشكل مباشر، مما يعني أنها لا توفر إمكانية تخزين طاقة بشكل فعال
الطاقة الكهرومائية	إمكانية تخزين مرتفعة، حيث يتم تخزين المياه في السدود، وتحويلها إلى طاقة كهرومائية عند الحاجة، ويمكن تنظيم تدفق المياه بشكل مرن لتلبية الطلب على الكهرباء، مما يجعل الطاقة المائية قابلة للتخزين بشكل فعال

يمكن الاستنتاج من خلال الجدول أعلاه أن الطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية تتيحان إمكانية تخزين بشكل فعال، بينما الطاقات الأخرى مثل الطاقة الرياحية، النووية، توفر إمكانية تخزين بمستويات متفاوتة، مع تفضيل الطاقة المائية بسبب مرونتها في تنظيم تدفق المياه لتلبية الطلب على الكهرباء.

9.3 خاتمة

في الختام تكشف المقارنة بين مختلف مصادر الكهرباء أنه ليس هناك حل فريد يلائم كل الظروف، وعلى الرغم من أن المصادر المتجددة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح تتميز بمستوى عالٍ من الاستدامة البيئية، إلا أنه من الضروري النظر في عوامل أخرى كالمردودية والتكلفة وقابلية التخزين، لذا يُنصح باتباع استراتيجيات متكاملة تجمع بين تنوع مصادر الطاقة وتشجع على الاستثمار في الأبحاث وتطوير تقنيات إنتاج الطاقة النظيفة. هذه الجهود المتضافرة من شأنها أن تعزز الاستدامة البيئية وتساهم في تحقيق التنمية المستدامة عالميًا.

الخاتمة العامة

تعتبر الطاقة عاملاً أساسياً في تطور وازدهار المجتمعات البشرية، سواء من حيث تحسين الظروف المعيشية أو من حيث تطور الأنشطة الصناعية. من بين هذه الطاقات نجد الطاقة الكهربائية التي تحتل حيزا هاما في مختلف مجالات الحياة اليومية.

لذا تطرقنا من خلال هذه المذكرة إلى ماهية الطاقة الكهربائية وكل ما يرتبط بها من مفاهيم وتطبيقات في القطاع الصناعي، القطاع الزراعي، الرعاية الصحية، عملية التعليم، تشغيل الأجهزة الكهرومنزلية وإنارة المدن، تحسين قطاع المواصلات ...الخ. كما ألقينا من خلال هذه المذكرة نظرة وان لم تكن شاملة، على مختلف مصادرها وكيفية توليدها. هذه المصادر تتنوع بين ما هو تقليدي مثل الفحم وما هو حديث. هذه الأخيرة تعرف بالطاقات المتجددة وتسمى أيضًا الطاقات النظيفة لأنها تأتي من ظواهر طبيعية كالرياح والإشعاع الشمسي وبالرغم من ازدهار استغلالها لكنها لم تحل محل مصادر الطاقة الأخرى انها توفر إمكانية تقليل استخدام الوقود الأحفوري بشكل كبير.

ولا يرجع السبب في البحث عن مصادر بديلة لإنتاج الكهرباء الى تقليص التلوث البيئي فقط وإنما الى عوامل أخرى متعددة وقد حاولنا التطرق إلى الاختلافات الموجودة بين هده المصادر في الفصل الثالث من خلال معرفة التكلفة، المردودية، الوفرة، سهولة الاستغلال وإمكانية التخزين...الخ ولا تسمح هذه الدراسة بتحديد أي المصادر هي الأفضل بل تكتفي بتسليط الضوء على بعض الجوائب الايجابية والسلبية لكل واحد منها.

وبصفة عامة فقد سمح لنا انجاز هذه المذكرة باكتساب معارف جديدة وتوسيع معارفنا المرتبطة بالطاقة الكهربائية تحديدا ومختلف المصادر الطاقوية المولدة لها وقد يكون هدا الموضوع مفتاحا لدراسات أخرى نظرية أو عملية.

المراجع

[1] Edwin Kashy, Eustace E. Suckling, Sharon Bertsch McGrayne, "Electricity" Britannica pp:01-02, 12-11-2020

[2] Jacquelyn Jeanty, "How Is Electricity Made?" sciencing p:01-02

24-04-2017

[3] "History of Electricity", infoplease, [online] accessed on 10-11-2023

[4] "Types of Electricity - Modern Methods" https://www.electricityforum.com/types-electricity [online] accessed on

10-11-2023

[5] "ELECTRICITY FUNDAMENTALS", zebu.uoregon.edu [online]

accessed on 14-11-2023

[6] "History of Electricity", https://www.instituteforenergyresearch.org/history-electricity/ [online] accessed on 16-11-2023

[7] "Energy Use in Industry", eia.gov [online] accessed on 16-11-2023

[8] Deryagin V.V, " IMPORTANCE OF THE ELECTRICITY IN HUMAN LIFE"،Vladimir state university, Russia p:02, 2018

[9] "The Importance of Electricity", seasomaliland, [online] accessed on

16-11-2023

[10] Alic William Gray, Kenneth Mellanby, "Origins of agriculture" Britannica encyclopedia p:03.

[11] Anya Meave "The uses of electric energy", silencing, [online] accessed on

20-11-2023

[12] How Does Electricity Get to Your Home", https://www.bartonelectrical.net/how-does-electricity-get-to-your-home/

[online] accessed on 03-12-2023

[13] How Electricity Gets to You", Yukon energy, [online] accessed on

03-12-2023

[14] James Kakalios, "Everyday Physics for the Curious Scientist in You" p:160

[15] How is electricity generated and how does it power our homes", electriciancourses4u, [online] accessed on 12-12-2023

[16] R.W Hurst, "Dangers of Electricity", electricity forum, [online] accessed on 19-12-2023

[17] The possible consequences of an electric shock on the body", hydro Quebe

[online] accessed on 23-12-2023

[18] Kathleen M. Rest, "Electrical Safety: Safety & Health for Electrical Trades", elcosh.org [online] accessed on 04-01-2024

[19] Electricity explained", eia.gov, [online] accessed on 05-01-2024

[20] Francesco Gerali, "Fossil Fuels" IEEE History Center, [online] accessed on 05-01-2024

[21] "GREEN ENERGY GUIDE: SOURCES OF ELECTRICITY" ewg.org, [online] accessed on 13-01-2024

[22] "A Brief History of Natural Gas", American public gas association, [online] accessed on 13-01-2024

[23] "Coal & Electricity", https://www.futurecoal.org/coal-facts/coal-electricity/, [online] accessed on 21-01-2024

[24] "How Is Oil Needed for Gas and Electricity? " Just Energy, [online] accessed on 22-01-2024

[25] حرزالله كريمة–ميلودي حليمة، "دراسة مقارنة بين تأثير الزعانف المخروطية والأسطوانية على أداء المقطر الشمسي"،مذكرة ماستر، جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي، الموسم الجامعي 2021–2022

[26] عمر الشريف، "استخدامات الطاقات المتجددة ودورها في التنمية المحلية المستدامة – دراسة حالة الطاقة الشمسية في الجزائر"، أطروحة دكتوراه، جامعة باتنة،(2007)، ص 251.

[27] Bataineh KM, Abbas MA, "Performance analysis of solar still integrated with internal reflectors and fins"(2020). Page 205

[28] جامعة الصديق بن يحيى– جيجل، "الاستثمار في الطاقات المتجددة كآلية لتحقيق التنمية المستدامة (دراسة حالة الجزائر) "، وداد بولجمر–فيروز محروق، الموسم الجامعي 2017–2018

[29] Jack Unwin, " Nuclear power: The pros and cons of the energy source ", Power Technology, [online] accessed on 14-02-2024

[30] Kaushik Patowary, https://www.amusingplanet.com/2017/08/worlds-first-nuclear-power-plant.html, [online] accessed on 16-02-2024

[31] Jennifer Abella, "Hydroelectric power", Britannica encyclopedia. [online] accessed on 23-02-2024

[32] Talal Husseini (26-10-2018), https://www.power-technology.com/features/tidal-energy-advantages-and-disadvantages/. [online] accessed on 25-02-2024

[33] أسامة الفاضل، محطات المد والجزر Kawn group ص10-09.

[34] "Biomass explained", eia.gov, [online] accede le 04-03-2024

[35] محمد أبو الخير، "تعرف على نشأة وتطور الطاقة الحيوية عبر التاريخ". بترو نيوز أطُلِع عليه بتاريخ: 04-03-2024

[36] "Geothermal energy", irena.org. [online] accessed on 06-03-2024

[37] "Geothermal Electricity Production Basics", nrel.gov, [online] accessed on 09-03-2024

[38] نيكولاس كاننجهام، "دراسة: الطاقة المتجددة في الولايات المتحدة تتفوق على الوقود الأحفوري من حيث التكلفة" [online] أطُلِع عليه بتاريخ: 22-03-2024

[39] تكاليف توليد الطاقة المتجددة في عام 2020 الملخص التنفيذي. (IRENA)

[40] أدريان برنارد "الطاقة المتجددة: مزايا وعيوب الطاقة التي توفرها السدود التي تقام على الأنهار" BBC ARABIC. [online] أطُلِع عليه بتاريخ: 26-03-2024

[41] أحمد شوقي "نعمة أم نقمة.. نفايات الطاقة الشمسية تتسبب في أضرار بيئية كبرى" Attaqa.net. [online] أطُلِع عليه بتاريخ: 26-03-2024

[42] Almerini ana, "wind energy pros and cons", Solar Reviews, [online] accessed on 24-03-2024

[43] Awadhesh Jha, "Nuclear power: how might radioactive waste water affect the environment?" theconversation.com, [online] accessed on 30-03-2024

[44]" ما الدول الأكثر توليداً للكهرباء في العالم والمصادر المستخدمة في ذلك؟"، argaam.com [online]أطُلِع عليه بتاريخ: 05-04-2024

[45] F M Nizam Uddin Khan, "Design and optimization of lithium-ion battery as an efficient energy storage device for electric vehicles: A comprehensive review" [online] accessed on 14-05-2024