جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير

قسم: علوم اقتصادية

تخصص: اقتصاد كمي

مذكرة مقدمة لاستكمال متطلبات نيل شهادة ماستر أكاديمي

بعنـــــوان:

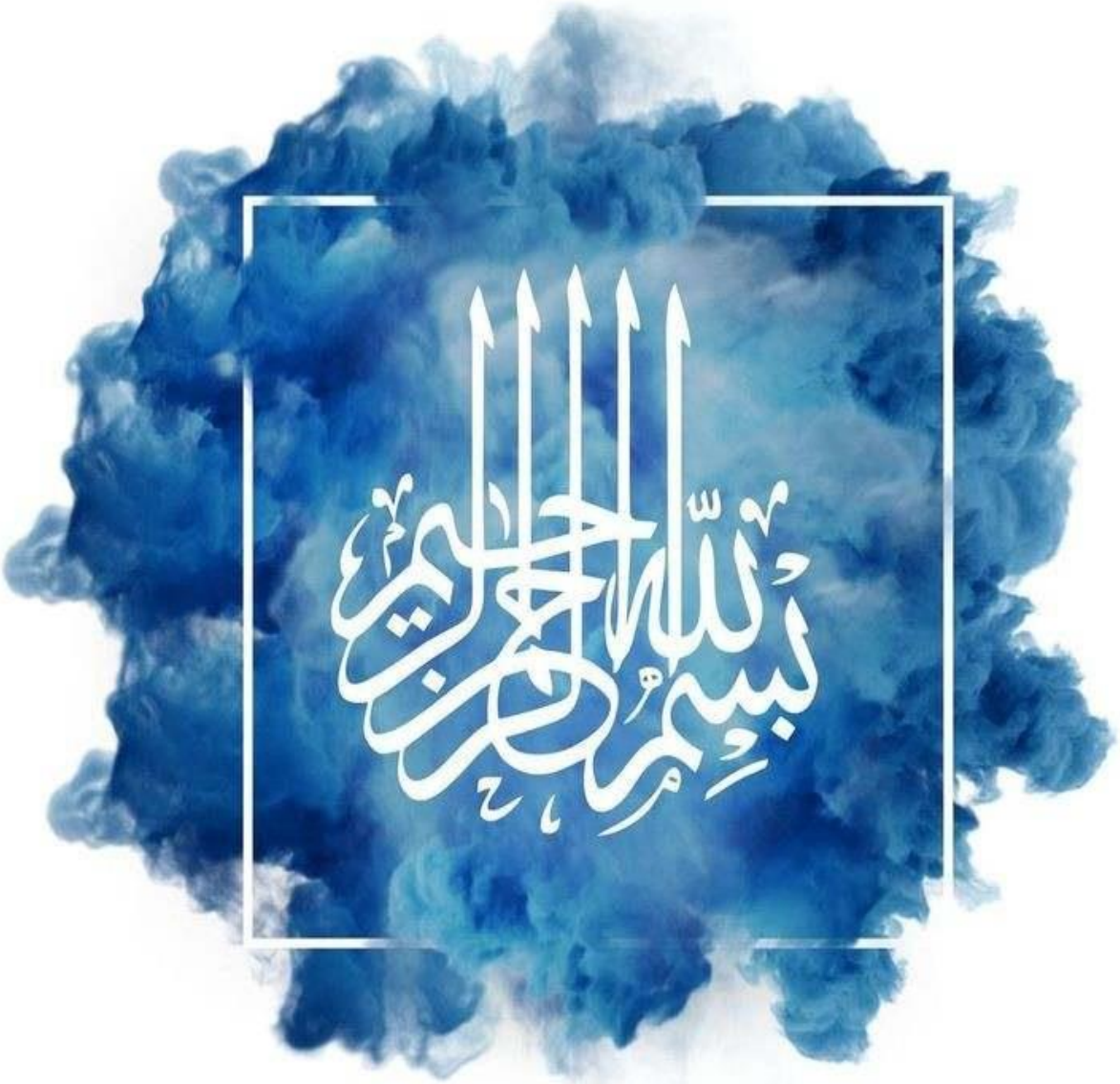
التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية

من إعداد الطالب:إشراف الأستاذ :

- تواتي عبد الرحمان

د.عدة خير الدين سليم

السنة الجامعية :2026/2025


بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

الحمد لله حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه، كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه، والصلاة والسلام على سيدنا محمد أشرف الخلق والمرسلين.

وبعد، فإنه لمن دواعي الفخر والاعتزاز أن أتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير والعرفان لكل من كان له الفضل، بعد الله تعالى، في إتمام هذا العمل المتواضع.

وأخصّ ببالغ الامتنان وعظيم التقدير الأستاذ المشرف، لما قدّمه من توجيهات علمية قيّمة، وإرشادات ، كان لها الأثر البالغ في إخراج هذه المذكرة على هذا النحو.

كما أتقدم بخالص الشكر إلى كافة الأساتذة الأفاضل الذين أسهموا في تكويني العلمي، وزوّدوني بالمعرفة طوال مشواري الدراسي.

ولا يسعني إلا أن أعبر عن عميق امتناني واعترافي بالجميل لعائلتي الكريمة، التي كانت ولا تزال السند والداعم الأول، بصبرها وتشجيعها ودعائها المتواصل.

كما أتوجه بالشكر إلى كل الأصدقاء والزملاء الذين قدموا لي يد العون والمساندة، وساهموا ولو بكلمة طيبة في إنجاز هذا العمل.

وفي الختام، أرجو من الله العلي القدير أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن يكتب له القبول والنفع.

والحمد لله رب العالمين.

اهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تتيسر الصعاب، والصلاة والسلام على سيدنا محمد خاتم الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين.

فإنه لمن دواعي الشرف والامتنان أن أُهدي ثمرة هذا الجهد المتواضع إلى من كان لهم الفضل بعد الله تعالى في مسيرتي العلمية والحياتية. إلى أمي الغالية وأبي العزيز، اللذان أحاطاني برعايتهما الصادقة، وغمراني بدعائهما الخالص، وكانا لي السند الحقيقي في كل مراحل الدراسة، أُهدي هذا العمل وفاءً وعرفانًا بجميل لا يُجزى، وأسأل الله أن يجزيهما عني خير الجزاء، وأن يبارك في عمرهما وصحتهما، ويجعلهما من أهل الرضا في الدنيا والآخرة.

إلى إخوتي الأعزاء، الذين كانوا خير عون وسند، وشاركوا معي مشوار التعب والصبر، وكانوا لي مصدر دعم معنوي لا يُقدّر، أُهديكم هذا الإنجاز تقديرًا وامتنانًا.

إلى نفسي، التي واصلت السعي رغم الصعاب، وتحملت مشاق الطريق إيمانًا بأن الجد والاجتهاد لا يضيعان عند الله، أسأل الله التوفيق والثبات لما هو قادم.

وإلى كل من مدّ لي يد العون، أو أسدى لي نصحًا، أو خصني بدعوة صادقة في ظهر الغيب، أسأل الله أن يجعل ذلك في ميزان حسناتهم، وأن يبارك لهم في أعمارهم وأعمالهم.

وأخيرًا، أُهدي هذا العمل المتواضع، راجيًا من الله العلي القدير أن يجعله خالصًا لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يكون لبنة في طريق العلم والمعرفة، إنه ولي ذلك والقادر عليه.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتوقع استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر باستخدام نماذج السلاسل الزمنية ضمن إطار الاقتصاد القياسي. وقد تم الاعتماد على بيانات سنوية تغطي الفترة الممتدة من 1990 إلى 2023، مع تطبيق منهجية بوكس-جنكينز (Box-Jenkins) من أجل بناء نموذج قياسي قادر على تفسير سلوك الاستهلاك واستشراف تطوراته المستقبلية.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن سلسلة استهلاك الطاقة الكهربائية غير مستقرة في مستواها، لكنها تصبح مستقرة بعد أخذ الفرق الأول، مما يدل على أنها متكاملة من الدرجة الأولى .I(1)I(1)I(1)كما بينت عملية اختيار النماذج أن نموذج ARMA (2,2) هو النموذج الأكثر ملاءمة من حيث المعايير الإحصائية وجودة البواقي، حيث أظهر قدرة جيدة على تمثيل ديناميكية الاستهلاك.

وفيما يخص التنبؤ، فقد أشارت النتائج إلى استمرار الاتجاه التصاعدي لاستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر خلال سنة 2024، وهو ما يعكس تزايد الطلب نتيجة النمو السكاني والتوسع الاقتصادي وتحسن مستوى المعيشة. ويؤكد ذلك أهمية اعتماد سياسات طاقوية استشرافية تقوم على توسيع قدرات الإنتاج، وترشيد الاستهلاك، وتعزيز التوجه نحو الطاقات المتجددة لضمان الأمن الطاقوي والاستدامة.

الكلمات المفتاحية:

الطاقة الكهربائية، الاستهلاك، التنبؤ، الاقتصاد القياسي، السلاسل الزمنية، نموذجARMA ، منهجية بوكس-جنكينز، الجزائر.

Résumé :

Cette étude vise à analyser et prévoir la consommation d’énergie électrique en Algérie à l’aide des modèles de séries temporelles dans le cadre de l’économétrie. Des données annuelles couvrant la période de 1990 à 2023 ont été utilisées, en appliquant la méthodologie de Box-Jenkins afin de construire un modèle capable d’expliquer le comportement de la consommation et d’anticiper son évolution future.

Les résultats montrent que la série de consommation d’électricité est non stationnaire en niveau, mais devient stationnaire après la première

différenciation, ce qui indique qu'elle est intégrée d'ordre un I(1)I(1)I(1). L'identification des modèles a révélé que le modèle ARMA (2,2) est le plus approprié selon les critères statistiques et la qualité des résidus, démontrant une bonne capacité de représentation de la dynamique de la consommation.

Concernant la prévision, les résultats indiquent la poursuite de la tendance haussière de la consommation d'électricité en Algérie en 2024, reflétant l'augmentation de la demande due à la croissance démographique, au développement économique et à l'amélioration du niveau de vie. Cela souligne la nécessité de mettre en place des politiques énergétiques prospectives basées sur l'augmentation des capacités de production, la rationalisation de la consommation et le développement des énergies renouvelables afin de garantir la sécurité énergétique et la durabilité.

Mots-clés :

Énergie électrique, consommation, prévision, économétrie, séries temporelles, modèle ARMA, méthodologie de Box-Jenkins, Algérie.

Abstract:

This study aims to analyze and forecast electricity consumption in Algeria using time series models within the framework of econometrics. Annual data covering the period from 1990 to 2023 were used, applying the Box-Jenkins methodology to build a model capable of explaining consumption behavior and predicting its future evolution.

The results show that the electricity consumption series is non-stationary in levels but becomes stationary after first differencing, indicating that it is integrated of order one I(1)I(1)I(1). Model identification revealed that the ARMA (2,2) model is the most suitable based on statistical criteria and residual diagnostics, demonstrating strong performance in capturing the dynamics of electricity consumption.

Regarding forecasting, the results indicate a continued upward trend in electricity consumption in Algeria in 2024, reflecting increasing demand driven by population growth, economic development, and improved living standards. This highlights the need for forward-looking energy policies focused on expanding production capacity, rationalizing consumption, and promoting renewable energy sources to ensure energy security and sustainability.

Keywords:
Electricity, consumption, forecasting, econometrics, time series, ARMA model, Box-Jenkins's methodology, Algeria.

فهرس

الملخص .....

Résumé : .....

Abstract: .....

مقدمة عامة..... أ

الفصل الأول: الإطار النظري للطاقة الكهربائية 1

1. المبحث الأول: عموميات حول الطاقة الكهربائية 1

المطلب الأول: مفهوم الطاقة الكهربائية..... 1

المطلب الثاني: لمحة تاريخية عن تطور الطاقة الكهربائية..... 2

المطلب الثالث: خصائص الطاقة الكهربائية 4

2.المبحث الثاني: العوامل المحددة لاستهلاك الطاقة الكهربائية 6

المطلب الأول: نظرية الطلب على الطاقة الكهربائية 8

المطلب الثاني: العوامل الاقتصادية المحددة لاستهلاك الطاقة الكهربائية..... 10

المطلب الثالث: العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة الكهربائية 13

3.المبحث الثالث: الطاقة الكهربائية في الجزائر 15

المطلب الأول: مكونات قطاع الكهرباء وأهدافه 15

المطلب الثاني: تطور إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر..... 18

المطلب الثالث: التحديات التي تواجه قطاع الكهرباء في الجزائر 20

خاتمة: 23

الفصل الثاني: الدراسات السابقة..... 20

1.الدراسات المحلية الجزائرية حول التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية 21

.2الدراسات الأجنبية حول التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية 27

.3أوجه التشابه، الاختلاف والمقارنة بينهما 31

أولاً: أوجه التشابه بين الدراسات السابقة 31

ثانياً: أوجه الاختلاف بين الدراسات السابقة 32

ثالثا: مقارنة بين الدراسات المحلية والأجنبية 34

خاتمة 36

الفصل الثالث: الدراسة القياسية والتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية..... 36

المبحث الأول: تقديم البيانات والتحليل الوصفي لسلسلة استهلاك الطاقة..... 36

المطلب الأول: تعريف البيانات ومصادرها..... 36

المطلب الثاني: اختبار استقرارية السلسلة الزمنية 38

المبحث الثالث: تقدير النموذج واختبارات الجودة 46

المطلب الأول: تقديم نموذج ARMA ومنهجية بوكس–جنكينز 46

المطلب الثاني: تحديد النموذج المناسب وتقديره..... 48

المطلب الثاني: تقدير نموذج ARMA (2,2) وتحليل نتائجه 54

المطلب الثالث: اختبارات صلاحية وجودة النموذج المقدر 56

المطلب الرابع: نتائج التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية لسنة 2024 62

المبحث الخامس: التفسير الاقتصادي ومناقشة نتائج الدراسة 64

الاستنتاج العام..... 66

خاتمة :..... 67

خاتمة عامة..... 69

قائمة المراجع 71

قائمة الجداول

جدول1: العوامل المؤثرة على استهلاك الطاقة الكهربائية..... 6
جدول 2:مقارنة بين الدراسات المحلية والأجنبية في مجال استهلاك الطاقة الكهربائية..... 34
جدول 3:مقارنة بين النماذج..... 56
جدول4 :نتائج التنبؤ لاستهلاك الطاقة الكهربائية..... **Error! Bookmark not defined.**
جدول 5:ملخص مراحل التحويل العكسي للتنبؤ (سنة 2024)..... 63

قائمة الأشكال

رسم توضيحي1:خصائص الطاقة الكهربائية 4
رسم توضيحي2:محددات استهلاك الطاقة الكهربائية..... 7
رسم توضيحي3:العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الكهرباء..... 13
رسم توضيحي4 :مراحل مسار الطاقة الكهربائية من الإنتاج إلى الاستهلاك..... 16
رسم توضيحي5:تصنيف التحديات التي تواجه قطاع الكهرباء في الجزائر 20

قائمة الأشكال

الشكل1 :التطور الزمني لاستهلاك الطاقة الكهربائية للفرد في الجزائر خلال الفترة(1990–2023) . 37

الشكل2 :نتائج اختبارADF..... 38

الشكل3 :السلسلة الزمنية بعد إزالة الاتجاه العام(YT) 40

الشكل4 :نتائج اختبار ADF للسلسلة 41

الشكل5 :نتائج اختبار ADF للسلسلة DYT..... 43

الشكل6 : تطور السلسلة الزمنية بعد أخذ الفرق الأول (DYTT). 44

الشكل7 :مراحل منهجية بوكس–جنكينز في تحليل السلاسل الزمنية..... 47

الشكل8 : السلسلة بعد الفرق الأولCorrelogram 49

الشكل9 :تقدير نموذج(1,1) ARMA 51

الشكل10 :تقدير نموذج(2,1) ARMA 52

الشكل11 :نتائج تقدير نموذج(2,2) ARMA..... 54

الشكل12 :نتائج اختبار الارتباط الذاتي للبواقي (LM Test)..... 57

الشكل13 :نتائج اختبار التوزيع الطبيعي للبواقي (Jarque-Bera Test)..... 58

الشكل14 :مخطط الارتباط الذاتي للبواقي (Correlogram of Residuals) 59

الشكل15 :نتائج اختبار تجانس التباين البواقي (ARCH Test)..... 60

الشكل16 :نتائج التنبؤ الديناميكي لسنة 2024..... **Error! Bookmark not defined.**

مقدمة عامة

مقدمة عامة

تعدّ الطاقة الكهربائية من أهم الركائز الأساسية التي تقوم عليها عملية التنمية الاقتصادية والاجتماعية في مختلف دول العالم، إذ أصبحت تمثل عنصرًا حيويًا لا يمكن الاستغناء عنه في شتى مجالات الحياة المعاصرة. فهي تُستخدم على نطاق واسع في القطاعات الإنتاجية كالصناعة والفلاحة، وفي القطاعات الخدمية كالنقل والصحة والتعليم، فضلاً عن دورها البارز في تحسين مستوى معيشة الأفراد ورفع جودة الحياة. وقد ارتبط تطور المجتمعات الحديثة ارتباطًا وثيقًا بمدى توفر الطاقة الكهربائية واستقرارها وكفاءتها، حيث يُعدّ استهلاك الكهرباء أحد المؤشرات الدالة على مستوى التقدم الاقتصادي لأي دولة.

ومع تسارع وتيرة النمو الاقتصادي والتطور التكنولوجي، إلى جانب التوسع العمراني والزيادة السكانية، شهد الطلب على الطاقة الكهربائية ارتفاعًا مستمرًا خلال العقود الأخيرة. هذا التزايد المطّرد في الطلب يفرض تحديات كبيرة على الحكومات، خاصة فيما يتعلق بضمان أمن الإمدادات الكهربائية وتحقيق التوازن بين العرض والطلب. ومن هنا تبرز أهمية التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية كأداة أساسية في التخطيط الاقتصادي، حيث يساعد التنبؤ الدقيق على اتخاذ قرارات رشيدة تتعلق بالاستثمار في قطاع الطاقة، وتطوير البنية التحتية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد.

وفي هذا السياق، تُعدّ الجزائر من بين الدول التي تواجه تحديات متزايدة في قطاع الطاقة الكهربائية، وذلك نتيجة عدة عوامل، من أبرزها النمو السكاني المتسارع، والتوسع الحضري، والارتفاع المستمر في مستوى المعيشة، مما أدى إلى زيادة استخدام الأجهزة والتجهيزات الكهربائية. كما يعتمد قطاع الطاقة في الجزائر بشكل كبير على المصادر التقليدية، خاصة الغاز الطبيعي، وهو ما يجعل الاقتصاد عرضة لتقلبات الأسواق العالمية للطاقة، ويطرح إشكالات تتعلق باستدامة الموارد. وقد أدى هذا الوضع إلى تزايد الضغط على منظومة إنتاج ونقل وتوزيع الكهرباء، الأمر الذي يستدعي ضرورة تحسين كفاءة إدارة هذا القطاع الحيوي.

وبناءً على ما سبق، أصبحت الحاجة ملحّة لاعتماد أساليب علمية دقيقة لتحليل سلوك استهلاك الطاقة الكهربائية وفهم محدداته الأساسية. ويُعدّ التحليل القياسي من أهم الأدوات المستخدمة في هذا المجال، حيث يسمح بدراسة العلاقة بين استهلاك الكهرباء ومجموعة من المتغيرات الاقتصادية، مثل الناتج المحلي الإجمالي، وعدد السكان، ومستوى الدخل، وغيرها من العوامل المؤثرة. كما يُمكّن من بناء نماذج تنبؤية تساعد على استشراف الطلب المستقبلي، وهو ما يُسهم في دعم عملية اتخاذ القرار ووضع السياسات الطاقوية المناسبة

وانطلاقًا من ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتفسير سلوك استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر خلال فترة زمنية محددة، من خلال توظيف الأساليب القياسية، وبناء نموذج اقتصادي قياسي قادر على تفسير العلاقة بين استهلاك الكهرباء وبعض المتغيرات الاقتصادية ذات الصلة. كما تسعى الدراسة إلى التنبؤ بالطلب المستقبلي على الطاقة الكهربائية، بما يساعد على توفير رؤية استشرافية يمكن الاعتماد عليها في رسم السياسات الطاقوية وتحقيق تنمية مستدامة

وبناءً على ما سبق، يمكن طرح الإشكالية الرئيسية للدراسة كما يلي:

ما هي أهم المحددات الاقتصادية لاستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر؟

وهل يمكن بناء نموذج قياسي فعال للتنبؤ باستهلاك الكهرباء في المستقبل؟

وتندرج تحت هذه الإشكالية مجموعة من التساؤلات الفرعية:

ما طبيعة العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة الكهربائية؟

ما مدى قدرة النموذج القياسي المستخدم على تقديم تنبؤات دقيقة؟

وللإجابة عن هذه التساؤلات، تم الاعتماد على الفرضيات التالية:

- توجد علاقة طردية بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة الكهربائية.
- يوجد تأثير إيجابي عند مستوى الدخل على الطلب على الكهرباء.

وتهدف هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف، من أبرزها:

- تحديد أهم العوامل المؤثرة في استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر.
- تحليل العلاقة بين المتغيرات الاقتصادية والطلب على الكهرباء.
- بناء نموذج قياسي لتفسير سلوك الاستهلاك.
- التنبؤ بالطلب المستقبلي على الطاقة الكهربائية.

وتكمن أهمية الدراسة في كونها تساهم في توفير قاعدة تحليلية تساعد صانعي القرار في وضع سياسات طاقوية فعالة، وتحسين كفاءة استغلال الموارد، وضمان استدامة الإمدادات الكهربائية في ظل التحديات الراهنة.

أما فيما يتعلق بمنهجية الدراسة، فقد تم الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي في عرض الإطار النظري، والمنهج القياسي في الجانب التطبيقي، وذلك باستخدام بيانات زمنية لمجموعة من المتغيرات الاقتصادية، مع توظيف بعض النماذج القياسية المناسبة لتحليل العلاقة والتنبؤ بها.

وفيما يخص حدود الدراسة، فقد تم التركيز على الاقتصاد الجزائري خلال فترة زمنية محددة، مع الاعتماد على البيانات المتاحة من المصادر الرسمية

وأخيرًا، تم تقسيم هذه الدراسة إلى ثلاثة فصول رئيسية:

يتناول الفصل الأول الإطار النظري لاستهلاك الطاقة الكهربائية، من خلال عرض المفاهيم الأساسية والعوامل المحددة للاستهلاك، إضافة إلى واقع قطاع الكهرباء في الجزائر.

بينما يُخصص الفصل الثاني لعرض وتحليل أهم الدراسات السابقة المرتبطة بموضوع البحث، سواء العربية أو الأجنبية، بهدف الاستفادة منها في بناء الإطار التطبيقي للدراسة.

في حين يتناول الفصل الثالث الدراسة القياسية، من خلال بناء نموذج اقتصادي لتحليل محددات استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر والتنبؤ به، مع عرض النتائج ومناقشتها

الفصل الأول: الإطار النظري للطاقة الكهربائية

الفصل الأول: الإطار النظري للطاقة الكهربائية

يعدّ قطاع الطاقة الكهربائية من الركائز الأساسية التي تعتمد عليها مختلفالأنشطةالاقتصادية والاجتماعية، حيث أصبحت الكهرباء عنصرًا حيويًا في الإنتاج والخدمات والحياة اليومية. وقد ارتبط تطور الدول بمدى توفر هذه الطاقة واستقرارها وقدرتها على تلبية الطلب

وخلال السنوات الأخيرة، شهد الطلب على الكهرباء تزايدًا ملحوظًا نتيجة النمو السكاني والتوسع العمراني والتطور التكنولوجي، مما جعل استهلاكها مؤشرًا مهمًا يعكس مستوى النشاط الاقتصادي. كما تتسم العلاقة بين استهلاك الطاقة الكهربائية والنمو الاقتصادي بطابع تفاعلي، حيث يؤثر كل منهما في الآخر

وفي الجزائر، عرف قطاع الكهرباء تطورًا ملحوظًا من خلال توسيع القدرات الإنتاجية وتحسين شبكات النقل والتوزيع، إلا أن هذا التطور صاحبه ارتفاع مستمر في الاستهلاك، مما يطرح تحديات تتعلق بأمن الإمدادات وترشيد الاستخدام.

ومن هذا المنطلق، يهدف هذا الفصل إلى تقديم إطار نظري حول الطاقة الكهربائية، من خلال عرض مفاهيمها وخصائصها، وتحليل علاقتها بالنمو الاقتصادي، ودراسة واقع القطاع في الجزائر، تمهيدًا للجانب التطبيقي

1. المبحث الأول: عموميات حول الطاقة الكهربائية

تُعدّ الطاقة الكهربائية من أهم أشكال الطاقة المستخدمة في العصر الحديث، لما لها من دور أساسي في تشغيل مختلف الأنشطة الاقتصادية وتحسين مستوى معيشة الأفراد. وقد شهدت هذه الطاقة تطورًا كبيرًا عبر الزمن، سواء من حيث طرق إنتاجها أو مجالات استخدامها. ومن هذا المنطلق، سيتم في هذا المبحث التطرق إلى المفاهيم الأساسية المتعلقة بالطاقة الكهربائية، مع إبراز تطورها التاريخي وأهم خصائصها.

المطلب الأول: مفهوم الطاقة الكهربائية

تُعرَّف الطاقة الكهربائية بأنها شكل من أشكال الطاقة الناتجة عن حركة الشحنات الكهربائية (الإلكترونات) داخل موصل، وتُستخدم في تشغيل الأجهزة والمعدات وتحويلها إلى أشكال أخرى من الطاقة كـالطاقة الحرارية، الميكانيكية أو الضوئية.

وتُعد الكهرباء من أهم مصادر الطاقة الحديثة، لكونها سهلة النقل، سريعة التحويل، وقابلة للاستخدام في مختلف القطاعات الاقتصادية والاجتماعية.

كما تُعرّف وكالة الطاقة الدولية (IEA) الكهرباء بأنها:

«طاقة ثانوية يتم إنتاجها من مصادر أولية مثل الوقود الأحفوري، الطاقة النووية، والطاقة المتجددة، وتلعب دورًا محوريًا في التنمية الاقتصادية».

الأهمية الاقتصادية للطاقة الكهربائية:

- عنصر أساسي في الإنتاج الصناعي
- ركيزة للتنمية الاجتماعية وتحسين مستوى المعيشة
- مؤشر مهم على مستوى التطور الاقتصادي للدول

المطلب الثاني: لمحة تاريخية عن تطور الطاقة الكهربائية

شهدت الطاقة الكهربائية تطورًا تدريجيًا على مر العصور، حيث انتقلت من مجرد ظواهر طبيعية إلى عنصر أساسي في الحياة الاقتصادية والاجتماعية والصناعية. وقد ارتبط هذا التطور بالبحث العلمي والتقدم التكنولوجي، وتميز بمراحل تاريخية متعاقبة.

أولًا: مرحلة الاكتشافات العلمية

بدأ الاهتمام بالكهرباء منذ العصور القديمة، حيث لاحظ الإغريق ظاهرة الجذب الناتجة عن فرك الكهرمان، إلا أن هذه الظواهر لم تكن مفهومة علميًا آنذاك. ومع القرن الثامن عشر، ظهرت الدراسات العلمية المنظمة، ومن أبرز العلماء بنيامين فرانكلين الذي أثبت الطبيعة الكهربائية للبرق ووضع أساسيات مفهوم الشحنة الكهربائية.[1]

وفي القرن التاسع عشر، اكتشف العالم مايكل فاراداي مبدأ الحث الكهرومغناطيسي سنة 1831، وهو الاكتشاف الذي مهد الطريق لتطوير المولدات الكهربائية وتحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهرباء.هذا الاكتشاف شكّل نقطة تحول أساسية في استخدام الكهرباء في التطبيقات العملية والصناعية.[2]

ثانيًا: مرحلة الإنتاج الصناعي للطاقة الكهربائية

[1]Hughes, T. P. (1993). Networks of power: Electrification in Western society, 1880–1930. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

[2]Park, D. (1993). The fire within the eye: A historical essay on the nature and meaning of light. Princeton University Press.

مع نهاية القرن التاسع عشر، بدأ الإنتاج الصناعي للطاقة الكهربائية على نطاق واسع. ساهم توماس إديسون في تطوير نظام التيار المستمر (DC) للإضاءة الكهربائية، بينما طوّر نيكولا تسلا ونشر أنظمة التيار المتناوب (AC)، التي تسمح بنقل الكهرباء لمسافات طويلة بكفاءة عالية. [1]هذا أدى إلى انتشار شبكات الكهرباء الحديثة واعتماد التيار المتناوب كأساس لأنظمة التوزيع الكهربائية في معظم دول العالم.

ثالثًا: مرحلة التوسع والانتشار

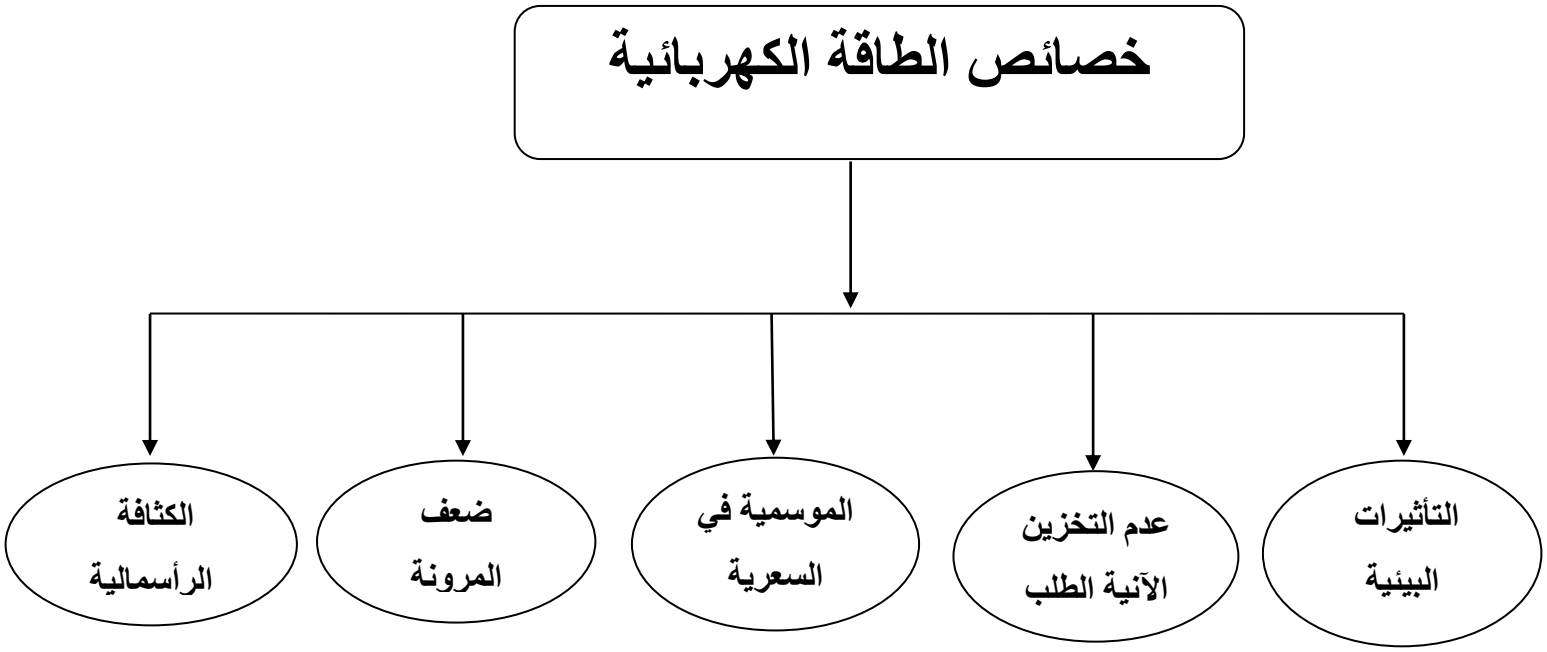
خلال القرن العشرين، توسعت استخدامات الكهرباء بشكل كبير، مع إنشاء محطات متعددة لتوليد الطاقة، منها الحرارية، الكهرومائية، والنووية، لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء في الصناعة والمنازل والقطاع الخدمي. ومع بداية القرن الحادي والعشرين، ظهر التركيز على مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري والحفاظ على البيئة.[32]

[1]أنتوني، (2011). تاريخ الكهرباء وتطور أنظمة الطاقة الكهربائية. دار النشر.

[2]وكالة الطاقة الدولية .(2022) .*التوقعات العالمية للطاقة 2022* .(*World Energy Outlook 2022*)باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[3]الرحيم، محمد. (2014). عنوان الكتاب أو المرجع. دار النشر.

المطلب الثالث: خصائص الطاقة الكهربائية



رسم توضيحي1:خصائص الطاقة الكهربائية

تتميز الطاقة الكهربائية بمجموعة من الخصائص التقنية والاقتصادية التي تجعل تحليلها ونمذجتها والتنبؤ باستهلاكها أمرًا معقدًا، وفي الوقت نفسه ضروريًا لأغراض التخطيط الطاقوي. وتنعكس هذه الخصائص بشكل مباشر على كيفية إدارة أنظمة الكهرباء وتوازنها، ويمكن عرض أهمها كما يلي:

أولًا: عدم قابلية التخزين

تُعد الكهرباء من السلع التي يصعب تخزينها بكميات كبيرة وبطريقة اقتصادية، باستثناء بعض التقنيات المحدودة مثل البطاريات، والتي تبقى مكلفة نسبيًا. لذلك، يتطلب النظام الكهربائي تحقيق توازن فوري بين العرض والطلب، حيث يجب إنتاج الكمية المطلوبة في نفس لحظة استهلاكها، وهو ما يزيد من تعقيد إدارة الشبكات الكهربائية.[1]

[1]وكالة الطاقة الدولية .(2022) .*التوقعات العالمية للطاقة 2022* .باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

ثانيًا: الآنية في الإنتاج والاستهلاك

تتميز الطاقة الكهربائية بكونها تنتقل بشكل فوري تقريبًا عبر شبكات النقل، مما يجعل عمليات الإنتاج والتوزيع والاستهلاك متزامنة. ويعني ذلك من الناحية الاقتصادية ضرورة توفر مرونة عالية في جانب العرض، حتى يتمكن النظام من الاستجابة السريعة لأي تغير مفاجئ في الطلب.[1]

ثالثًا: الموسمية والنمطية في الاستهلاك

يخضع استهلاك الكهرباء لأنماط زمنية منتظمة، سواء على المستوى اليومي أو الأسبوعي أو الفصلي. ففي الجزائر، يرتفع الطلب بشكل ملحوظ خلال فصل الصيف نتيجة الاستخدام المكثف لأجهزة التكييف، وهو ما يعكس تأثير العوامل المناخية على استهلاك الطاقة الكهربائية.[2]

رابعًا: ضعف المرونة السعرية للطلب

يتميز الطلب على الكهرباء بضعف مرونته السعرية في الأجل القصير، نظرًا لكونها سلعة أساسية يصعب الاستغناء عنها في الحياة اليومية والأنشطة الاقتصادية. كما أن سياسة دعم أسعار الكهرباء في الجزائر تقلل من حساسية المستهلكين تجاه تغير الأسعار، مما يجعل الطلب أكثر ارتباطًا بعوامل أخرى مثل الدخل والنمو السكاني. [43]

خامسًا: الكثافة الرأسمالية

يتطلب قطاع الكهرباء استثمارات ضخمة وطويلة الأجل في محطات التوليد وشبكات النقل والتوزيع، مما يجعله قطاعًا ذا كثافة رأسمالية عالية. ومن هذا المنطلق، فإن أي خطأ في تقدير الطلب المستقبلي، سواء بالزيادة أو النقصان، قد يؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة، وهو ما يبرز أهمية الاعتماد على نماذج قياسية دقيقة في التنبؤ.[5]

---

[1]صامويلسون، ب. أ.، ونوردهاوس، و. د. (2010). علم الاقتصاد (الطبعة 19). دار ماكغرو هيل للتعليم.

[2]وكالة الطاقة الدولية. (2022). التوقعات العالمية للطاقة 2022 .(World Energy Outlook 2022) باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[3]Varian, H. R. (2014). Intermediate microeconomics: A modern approach (9th ed.). W. W. Norton & Company.

[4]البنك الدولي .(2019) .*آفاق الاقتصاد العالمي والتنمية* .(*World Development Report*)واشنطن، الولايات المتحدة: البنك الدولي.

[5]Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2018). Microeconomics (9th ed.). Pearson Education.

سادسًا: التأثيرات الاقتصادية والبيئية

يرتبط إنتاج الكهرباء، خاصة في الجزائر، بآثار اقتصادية وبيئية مهمة، نظرًا للاعتماد الكبير على الغاز الطبيعي. إذ يؤدي ذلك إلى استنزاف الموارد الطاقوية وانبعاث الغازات الملوثة، مما يجعل التنبؤ بالاستهلاك لا يقتصر على الجانب الاقتصادي فقط، بل يمتد ليشمل الأبعاد البيئية واستدامة الموارد.[21]

2. المبحث الثاني: العوامل المحددة لاستهلاك الطاقة الكهربائية

يوضح الجدول التالي أهم العوامل المؤثرة على استهلاك الطاقة الكهربائية

جدول1: العوامل المؤثرة على استهلاك الطاقة الكهربائية

التفسير	نوع التأثير	العامل
ارتفاع السعر يقلل الطلب	عكسي	السعر
زيادة الدخل ترفع الاستهلاك	طردي	الدخل
زيادة عدد السكان تزيد الطلب	طردي	السكان
تقلل الاستهلاك أو تزيده	مزدوج	التكنولوجيا
حسب الدعم أو الضرائب	متغير	السياسات

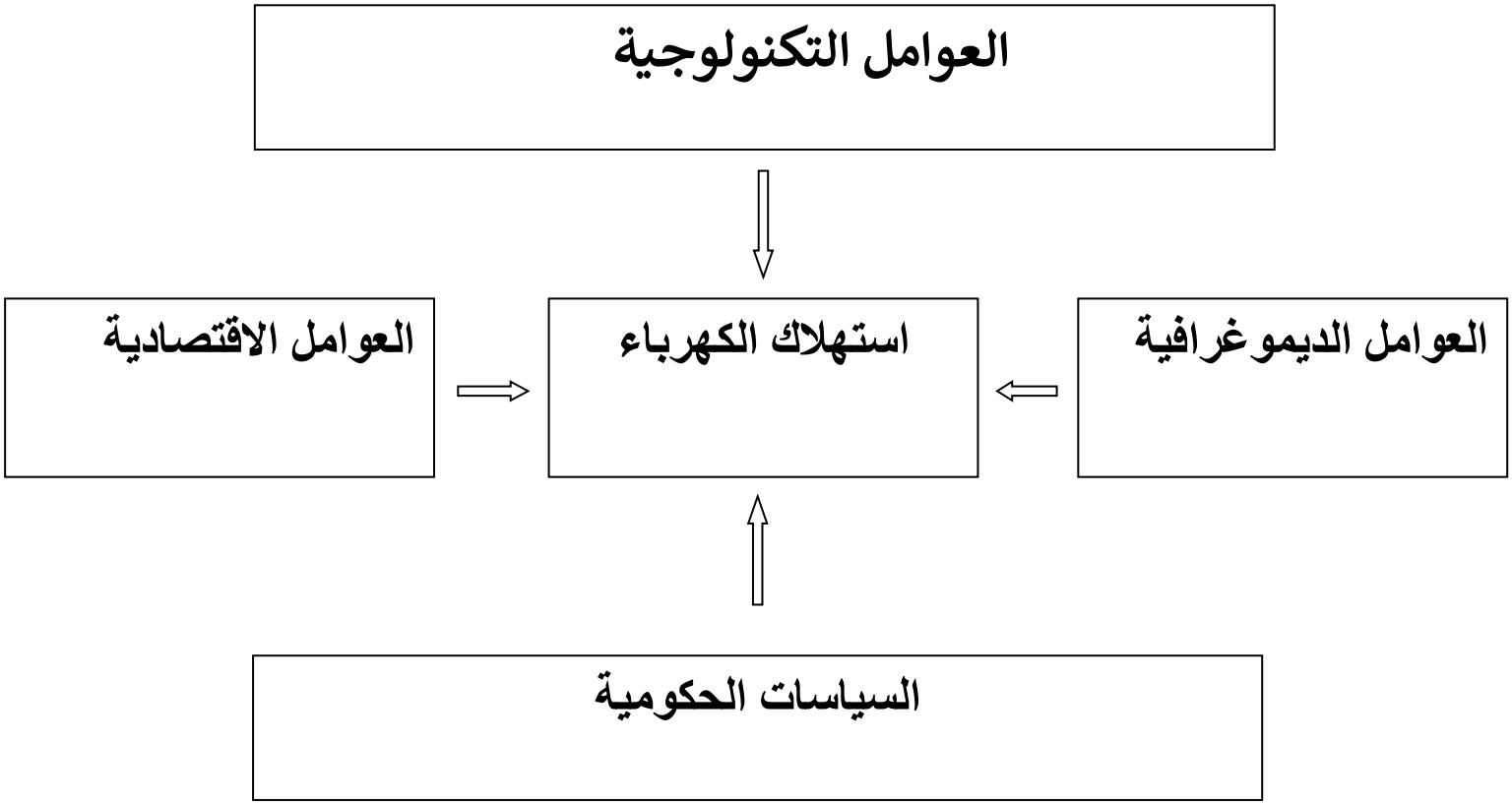
المصدر من إعداد الباحث

[1].وكالة الطاقة الدولية. (2022). التوقعات العالمية للطاقة 2022. باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[2]REN21. (2021). *Renewables 2021 global status report*. Paris: REN21 Secretariat.

ويمكن تلخيص هذه العوامل بشكل مبسط في الشكل التالي

رسم توضيحي2:محددات استهلاك الطاقة الكهربائية



المصدر: من إعداد الباحث

يُعتبر فهم محددات استهلاك الطاقة الكهربائية أمرًا ضروريًا لتحليل سلوك الطلب على الكهرباء والتنبؤ بتطوره في المستقبل. إذ يتأثر هذا الاستهلاك بعدة عوامل اقتصادية واجتماعية وتكنولوجية تتداخل فيما بينها، وتحدد مستوى الطلب في مختلف القطاعات. وعليه، سيتم في هذا المبحث دراسة أهم العوامل المؤثرة في استهلاك الطاقة الكهربائية، مع التركيز على الجوانب الاقتصادية والعلاقة مع النمو الاقتصادي.

المطلب الأول: نظرية الطلب على الطاقة الكهربائية

يُعرَّف الطلب على الطاقة الكهربائية بأنه الكمية التي يرغب المستهلكون، سواء كانوا أفرادًا أو مؤسسات أو قطاعات إنتاجية، في استهلاكها خلال فترة زمنية معينة وعند مستويات مختلفة من الأسعار. ويُعد فهم سلوك الطلب على الكهرباء من العناصر الأساسية في التحليل الاقتصادي، نظرًا لأهميته في التخطيط الطاقوي، وضمان التوازن بين العرض والطلب، بالإضافة إلى دوره في التنبؤ بالاستهلاك المستقبلي.

ويتميز الطلب على الطاقة الكهربائية بعدة خصائص تجعله مختلفًا نسبيًا عن الطلب على السلع الأخرى، حيث يتسم بضعف المرونة في المدى القصير، نظرًا لصعوبة الاستغناء عن الكهرباء في الحياة اليومية والنشاط الاقتصادي، في حين يصبح أكثر مرونة على المدى الطويل نتيجة التغير في أنماط الاستهلاك واعتماد تقنيات أكثر كفاءة.

أولًا: العوامل المؤثرة على الطلب على الكهرباء

يتحدد الطلب على الطاقة الكهربائية من خلال مجموعة من العوامل الاقتصادية والاجتماعية والتكنولوجية التي تتداخل فيما بينها، ومن أبرزها:

1. السعر

يُعد السعر من أهم العوامل المحددة للطلب، حيث توجد علاقة عكسية بين سعر الكهرباء والكمية المطلوبة، وفقًا لقانون الطلب. فارتفاع الأسعار يدفع المستهلكين إلى تقليل الاستهلاك أو ترشيده، خاصة في الاستخدامات غير الضرورية، بينما يؤدي انخفاض الأسعار إلى زيادة الطلب نتيجة انخفاض تكلفة الاستخدام.

2. الدخل والمستوى الاقتصادي

يرتبط الطلب على الكهرباء ارتباطًا طرديًا بمستوى الدخل، حيث يؤدي ارتفاع الدخل إلى زيادة استهلاك الكهرباء نتيجة التوسع في استخدام الأجهزة الكهربائية وتحسن مستوى المعيشة. كما أن النمو الاقتصادي يساهم في زيادة الطلب من خلال توسع الأنشطة الصناعية والخدمية.[21]

3. طبيعة الأنشطة الاقتصادية

[1]Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2010). Economics (19th ed.). McGraw-Hill Education

[2]Varian, H. R. (2014). *Intermediate microeconomics: A modern approach* (9th ed.). W. W. Norton & Company

تختلف مستويات استهلاك الكهرباء باختلاف طبيعة النشاط الاقتصادي، حيث تستهلك القطاعات الصناعية كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية مقارنة بالقطاع السكني، نظرًا لاعتمادها على الآلات والتجهيزات الكهربائية في عمليات الإنتاج. كما يلعب القطاع الخدمي دورًا متزايدًا في الطلب على الكهرباء مع تطور الاقتصاد.

4. التقدم التكنولوجي وكفاءة الأجهزة

يؤثر التطور التكنولوجي بشكل مزدوج على استهلاك الكهرباء، فمن جهة تساهم الأجهزة الحديثة ذات الكفاءة العالية في تقليل استهلاك الطاقة، ومن جهة أخرى يؤدي انتشار هذه الأجهزة وزيادة الاعتماد عليها إلى ارتفاع الطلب الإجمالي على الكهرباء، وهو ما يعكس تعقيد العلاقة بين التكنولوجيا والاستهلاك الطاقوي.[21]

ثانيًا: نماذج الطلب على الكهرباء

تُستخدم نماذج الطلب على الكهرباء في إطار الاقتصاد القياسي بهدف تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة الكهربائية ومختلف المتغيرات الاقتصادية، مثل الدخل، الأسعار، وعدد السكان. وتساعد هذه النماذج في تفسير سلوك الطلب والتنبؤ بمستوياته المستقبلية، مما يجعلها أداة أساسية في اتخاذ القرارات المتعلقة بسياسات الطاقة.

ومن بين أهم هذه النماذج:

1. نموذج الطلب الثابت (StaticDemand Model)

يفترض هذا النموذج ثبات العوامل المؤثرة على الطلب خلال فترة زمنية معينة، ويُستخدم لتحليل العلاقة الآنية بين المتغيرات الاقتصادية والاستهلاك، دون الأخذ بعين الاعتبار التغيرات الزمنية.

2. نموذج الطلب الديناميكي (Dynamic Demand Model)

[1]Pansini, A. J. (2011). Guide to electrical power distribution systems. The Fairmont Press.

[2]الزهراني، .(2015)*عنوان المرجع غير مذكور* .دار النشر غير مذكورة.

يراعي هذا النموذج التغيرات التي تحدث على المدى الطويل، حيث يأخذ في الحسبان تأثير الزمن والتغير في سلوك المستهلكين، إضافة إلى التطورات الاقتصادية والتكنولوجية. ويُعد هذا النوع من النماذج أكثر دقة في تحليل الطلب على الكهرباء، خاصة في الدراسات القياسية التي تهدف إلى التنبؤ المستقبلي.

وعليه، فإن فهم نظرية الطلب على الطاقة الكهربائية والعوامل المؤثرة فيها يُعد خطوة أساسية لتحليل سلوك الاستهلاك والتنبؤ به، وهو ما يمهد للانتقال إلى دراسة محددات الاستهلاك والعلاقات الاقتصادية المرتبطة به في المباحث اللاحقة.

المطلب الثاني: العوامل الاقتصادية المحددة لاستهلاك الطاقة الكهربائية

يُعدّ تحليل العوامل الاقتصادية المحددة لاستهلاك الطاقة الكهربائية من الركائز الأساسية لفهم سلوك الطلب الطاقوي، كما يُساهم بشكل كبير في رسم سياسات فعّالة للتخطيط الطاقوي والتنبؤ بالطلب المستقبلي. وتتأثر كمية الكهرباء المستهلكة بعدة متغيرات اقتصادية تتداخل فيما بينها، أبرزها الأسعار، مستوى الدخل، والسياسات الحكومية، إضافة إلى تكاليف الإنتاج والتوزيع.

أولًا: سعر الكهرباء

يُعتبر سعر الكهرباء من أهم العوامل المؤثرة في تحديد مستوى الاستهلاك، حيث تنص النظرية الاقتصادية على وجود علاقة عكسية بين السعر والطلب. فارتفاع أسعار الكهرباء يؤدي إلى تقليص الاستهلاك، خاصة في القطاعات التي تتمتع بمرونة نسبية، مثل القطاع المنزلي، إذ يسعى المستهلك إلى ترشيد استخدام الأجهزة الكهربائية أو البحث عن بدائل أقل تكلفة.

في المقابل، يؤدي انخفاض الأسعار إلى زيادة الطلب على الكهرباء، نتيجة انخفاض تكلفة الاستخدام، وهو ما قد يؤدي إلى الاستهلاك المفرط في بعض الحالات، خاصة في الدول التي تعتمد سياسات دعم الطاقة. ويرتبط هذا السلوك بمفهوم مرونة الطلب السعرية، التي تقيس مدى استجابة الكمية المطلوبة للتغير في الأسعار.[21]

ثانيًا: مستوى الدخل والقوة الشرائية

---

[1]Varian, H. R. (2014). *Intermediate microeconomics: A modern approach* (9th ed.). W. W. Norton & Company.

[2]Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2018). Microeconomics (9th ed.). Pearson Education.

يُعدّ الدخل من العوامل الأساسية المحددة لاستهلاك الطاقة الكهربائية، حيث توجد علاقة طردية بين مستوى الدخل والاستهلاك. فكلما ارتفع دخل الأفراد، زادت قدرتهم على اقتناء الأجهزة الكهربائية مثل المكيفات والثلاجات وأجهزة التدفئة، مما يؤدي إلى ارتفاع الطلب على الكهرباء.

كما أن النمو الاقتصادي ينعكس في توسع الأنشطة الصناعية والتجارية، وهو ما يزيد من استهلاك الطاقة الكهربائية على مستوى الاقتصاد ككل. وتظهر هذه العلاقة بوضوح في الدول النامية، حيث يؤدي ارتفاع الناتج المحلي الإجمالي إلى زيادة سريعة في الطلب على الكهرباء، نتيجة التحول نحو أنماط استهلاك أكثر كثافة للطاقة.[21]

ثالثًا: الدعم والحوافز الاقتصادية

تلعب السياسات الحكومية دورًا محوريًا في توجيه استهلاك الطاقة الكهربائية من خلال آليات الدعم والحوافز الاقتصادية. فالدعم المباشر لأسعار الكهرباء يؤدي إلى تقليل التكلفة على المستهلك، مما يشجع على زيادة الاستهلاك، وقد يؤدي في بعض الأحيان إلى ضعف كفاءة استخدام الطاقة.

في المقابل، فإن تقليص الدعم أو اعتماد سياسات تسعير تدريجية، إلى جانب فرض ضرائب على الاستهلاك المرتفع، يُساهم في ترشيد استخدام الكهرباء وتحسين الكفاءة الطاقوية. كما يمكن للحوافز، مثل دعم الأجهزة الموفرة للطاقة، أن تلعب دورًا إيجابيًا في توجيه سلوك المستهلك نحو استهلاك أكثر عقلانية. [43]

رابعًا: تكاليف الإنتاج والتوزيع

تؤثر تكاليف إنتاج الكهرباء ونقلها وتوزيعها بشكل غير مباشر على مستوى الاستهلاك، من خلال تأثيرها على السعر النهائي الذي يتحمله المستهلك. فكلما انخفضت تكاليف الإنتاج، سواء بفضل استخدام تقنيات أكثر كفاءة أو مصادر طاقة منخفضة التكلفة، انعكس ذلك على انخفاض أسعار الكهرباء، وبالتالي زيادة الطلب.

---

[1] وكالة الطاقة الدولية. (2022). التوقعات العالمية للطاقة 2022. باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[2] البنك الدولي .(2023) .*التقرير السنوي للتنمية العالمية* (*World Development Report*)واشنطن، الولايات المتحدة: البنك الدولي.

[3] Pansini, A. J. (2011). Guide to electrical power distribution systems. The Fairmont Press.

[4] عبد الرحيم، محمد. (2014). عنوان المرجع غير مذكور. دار النشر غير مذكورة.

أما في حالة ارتفاع تكاليف الإنتاج، فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الأسعار، مما قد يحد من الاستهلاك، خاصة في القطاعات الحساسة للسعر. ومن هنا تظهر أهمية تحسين كفاءة الإنتاج والاستثمار في البنية التحتية الطاقوية لضمان استقرار الأسعار وتلبية الطلب المتزايد.[21]

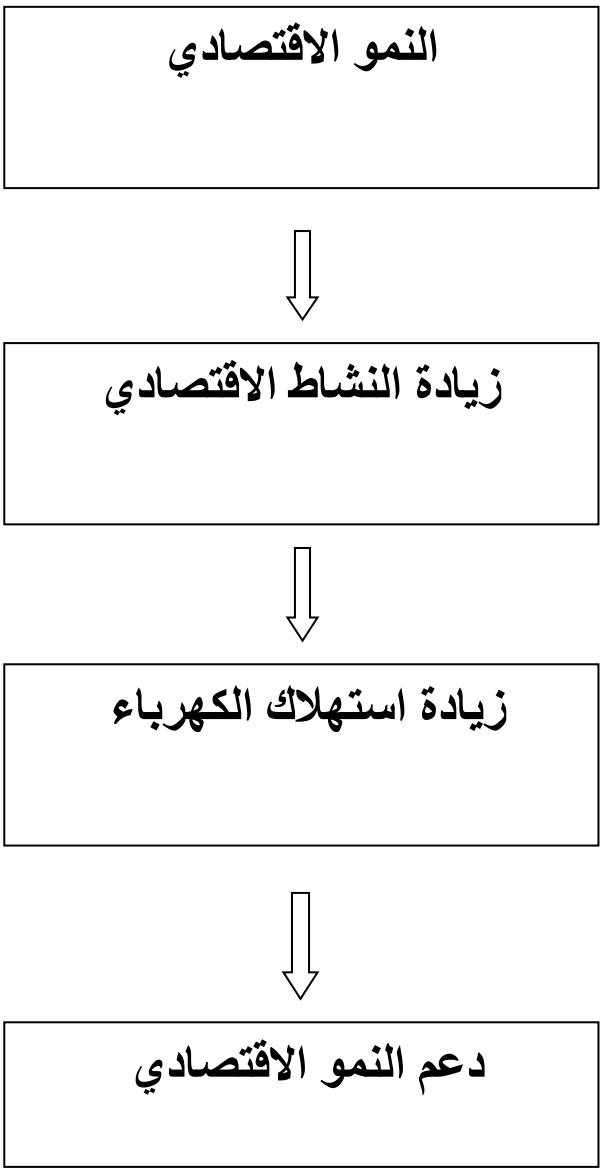
[1]Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2010). Economics (19th ed.). McGraw-Hill Education.

[2]بدوي، .(2012)

المطلب الثالث: العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة الكهربائية

يمكن تصنيف التحديات التي تواجه قطاع الكهرباء في الجزائر إلى أربعة محاور رئيسية كما هو موضح في الشكل التالي:

رسم توضيحي3:العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الكهرباء



المصدر: من إعداد الباحث

تُعد العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة الكهربائية من القضايا الأساسية في الاقتصاد الطاقوي، حيث تعكس درجة ارتباط النشاط الاقتصادي باستخدام الطاقة. ويُعتبر فهم هذه العلاقة ضروريًا لتقدير الطلب المستقبلي على الكهرباء ووضع سياسات طاقوية مستدامة.

أولًا: تأثير النمو الاقتصادي على الطلب على الكهرباء

يرتبط استهلاك الكهرباء ارتباطًا وثيقًا بمعدل النمو الاقتصادي، حيث يؤدي ارتفاع الناتج المحلي الإجمالي إلى زيادة الطلب على الطاقة نتيجة توسع الأنشطة الصناعية والخدمية، وارتفاع مستوى المعيشة. فكلما تطور الاقتصاد، زادت الحاجة إلى الكهرباء لتشغيل المصانع، وتقديم الخدمات، وتحسين جودة الحياة.

وتشير العديد من الدراسات إلى وجود علاقة ارتباطية قوية بين النمو الاقتصادي واستهلاك الكهرباء، خاصة في الدول النامية التي تمر بمراحل التصنيع والتوسع العمراني.[21]

ثانيًا: العلاقة السببية بين الكهرباء والنمو الاقتصادي

تتميز العلاقة بين استهلاك الكهرباء والنمو الاقتصادي بطابع ديناميكي، حيث يمكن أن تكون العلاقة ثنائية الاتجاه:

من الكهرباء إلى النمو: يساهم توفر الكهرباء بشكل مستقر في دعم الإنتاج الصناعي وتوسيع النشاط الاقتصادي، مما يعزز النمو.

من النمو إلى الكهرباء: يؤدي التوسع الاقتصادي إلى زيادة الطلب على الكهرباء، نتيجة ارتفاع الإنتاج والاستهلاك.

وهذا التفاعل المتبادل يفرض ضرورة التخطيط المسبق لتوفير الطاقة بما يتناسب مع متطلبات النمو الاقتصادي.[43]

---

[1]البنك الدولي. (2023). التقرير السنوي للتنمية العالمية .(World Development Report) واشنطن، الولايات المتحدة: البنك الدولي.

[2]Stern, D. I. (2011). The role of energy in economic growth. Annals of the New York Academy of Sciences,

[3]وكالة الطاقة الدولية .(2022) .*التوقعات العالمية للطاقة 2022* .باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[4]حسن، .(2012)

ثالثًا: الأدلة التطبيقية

تؤكد الدراسات التطبيقية وجود علاقة قوية بين مستوى التنمية الاقتصادية واستهلاك الكهرباء، حيث يزداد استهلاك الفرد من الكهرباء مع ارتفاع مستوى الدخل. فالدول المتقدمة، التي تتميز باقتصادات صناعية وخدمية متطورة، تستهلك كميات أكبر من الطاقة مقارنة بالدول النامية.

ويرجع ذلك إلى الاعتماد الكبير على التكنولوجيا، وتوسع البنية التحتية، وانتشار الأجهزة الكهربائية في مختلف مجالات الحياة، وهو ما يعكس دور الكهرباء كعنصر أساسي في تحقيق التنمية الاقتصادية.[1]

3. المبحث الثالث: الطاقة الكهربائية في الجزائر

يحتل قطاع الكهرباء مكانة هامة في الاقتصاد الجزائري، نظرًا لدوره الحيوي في دعم التنمية الاقتصادية وتلبية حاجيات مختلف القطاعات. وقد عرف هذا القطاع تطورًا ملحوظًا من حيث الإنتاج والاستهلاك، إلا أنه يواجه في المقابل عدة تحديات تتعلق بالاستدامة والكفاءة. ومن هذا المنطلق، سيتم في هذا المبحث عرض واقع قطاع الكهرباء في الجزائر، مع التطرق إلى مكوناته وتطوره وأهم التحديات التي تواجهه

المطلب الأول: مكونات قطاع الكهرباء وأهدافه

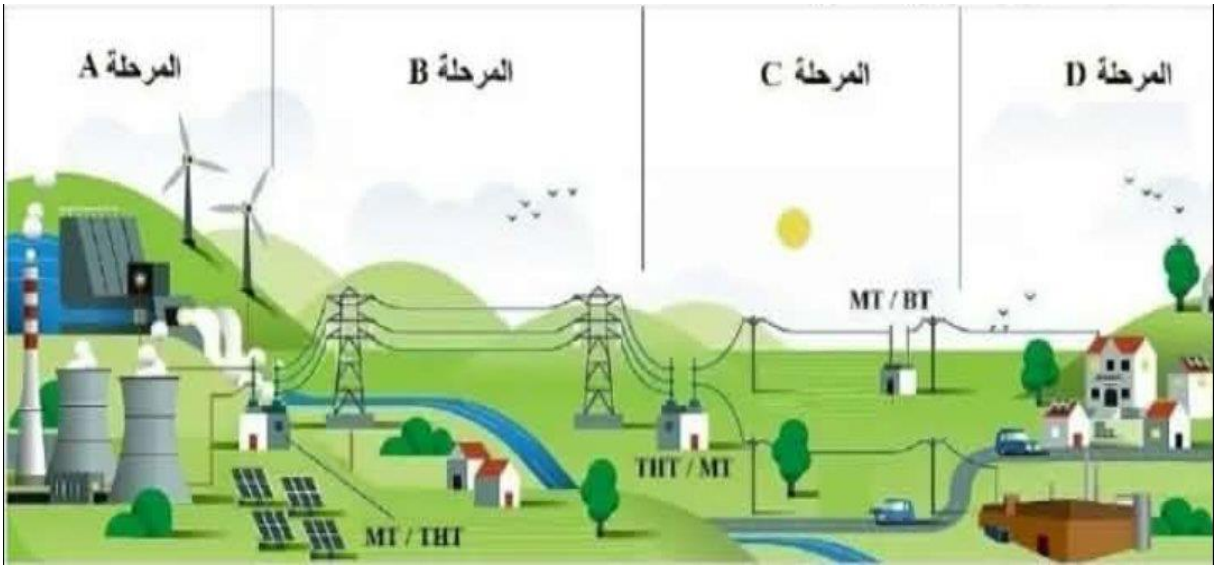
يُعدّ قطاع الكهرباء في الجزائر من القطاعات الاستراتيجية التي تلعب دورًا محوريًا في دعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية، حيث شهد هذا القطاع تطورًا ملحوظًا من حيث البنية التنظيمية والقدرات الإنتاجية، وذلك بهدف تلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية وضمان استمرارية التزويد بمختلف مناطق البلاد.

أولاً: مكونات قطاع الكهرباء في الجزائر:

- يتكون قطاع الكهرباء في الجزائر من مجموعة من المكونات المترابطة التي تشكل سلسلة متكاملة تبدأ بمرحلة الإنتاج، مرورًا بمرحلة النقل، وصولًا إلى مرحلة التوزيع. ويمكن توضيح ذلك من خلال الشكل التالي:

[1]Pansini, A. J. (2011). Guide to electrical power distribution systems. The Fairmont Press.

الشكل (1): مراحل مسار الطاقة الكهربائية من الإنتاج إلى الاستهلاك:



رسم توضيحي4:مراحل مسار الطاقة الكهربائية من الإنتاج إلى الاستهلاك

يوضح هذا الشكل المراحل الأساسية التي تمر بها الطاقة الكهربائية، حيث تبدأ بمرحلة الإنتاج داخل محطات التوليد، ثم تنتقل عبر شبكات النقل ذات الضغط العالي، لتصل بعدها إلى شبكات التوزيع التي توصل الكهرباء إلى المستهلك النهائي.

1. إنتاج الطاقة الكهربائية:

يعتمد إنتاج الكهرباء في الجزائر أساسًا على المحطات الحرارية التي تعمل بالغاز الطبيعي، نظرًا لتوفر هذه المادة بكميات كبيرة. كما شهدت السنوات الأخيرة توجهًا نحو تطوير الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، بهدف تنويع مصادر الإنتاج وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري (وزارة الطاقة، 2020).

2. نقل الطاقة الكهربائية:

تتمثل مرحلة النقل في إيصال الكهرباء من محطات الإنتاج إلى مراكز الاستهلاك عبر شبكات الضغط العالي والعالي جدًا، حيث تسمح هذه العملية بنقل كميات كبيرة من الطاقة لمسافات طويلة مع تقليل الفوائد، مما يساهم في ضمان استقرار النظام الكهربائي.

3. توزيع الطاقة الكهربائية:

تشمل مرحلة التوزيع إيصال الكهرباء إلى المستهلك النهائي، سواء في القطاع المنزلي أو الصناعي أو التجاري، عبر شبكات الضغط المتوسط والمنخفض. وقد شهد هذا الجانب توسعًا كبيرًا في الجزائر، مما ساهم في رفع نسبة الربط بالكهرباء إلى مستويات مرتفعة مقارنة بالعديد من الدول النامية.[1]

مرحلة استهلاك الطاقة الكهربائية(Consommation) :

تمثل هذه المرحلة الحلقة النهائية في مسار الطاقة الكهربائية، حيث يتم استخدام الكهرباء من قبل المستهلكين لتلبية احتياجاتهم المختلفة. ويشمل الاستهلاك عدة قطاعات، أبرزها القطاع المنزلي، الصناعي، التجاري، والخدماتي، إضافة إلى القطاع الفلاحي.

ويعتمد حجم الاستهلاك على عدة عوامل، منها النمو السكاني، التطور الاقتصادي، ومستوى المعيشة. وتسعى الدولة من خلال سياساتها الطاقوية إلى ضمان استمرارية التزويد بالكهرباء، وتحسين كفاءة الاستهلاك، وتشجيع الاستخدام العقلاني للطاقة، بما يساهم في تقليل الهدر وتحقيق التنمية المستدامة.

ثانياً: أهداف قطاع الكهرباء في الجزائر:

يسعى قطاع الكهرباء في الجزائر إلى تحقيق مجموعة من الأهداف الاقتصادية والاجتماعية، من أبرزها:

- تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء الناتج عن النمو السكاني والتوسع الصناعي.
- ضمان أمن التزويد الطاقوي واستمرارية الخدمة بجودة مقبولة.
- دعم التنمية الاقتصادية من خلال توفير الطاقة اللازمة للأنشطة الإنتاجية.
- تحسين الكفاءة الطاقوية وتقليل الفواقد في شبكات النقل والتوزيع.

تنويع مصادر الطاقة عبر إدماج الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، في المزيج الطاقوي الوطني، بما ينسجم مع أهداف التنمية المستدامة.[2]

[1] وكالة الطاقة الدولية. (2022). التوقعات العالمية للطاقة 2022. باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[2] وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة. (2021). الاستراتيجية الوطنية للانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة. الجزائر.

المطلب الثاني: تطور إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر

شهدت الجزائر تطورًا ملحوظًا في إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية خلال العقود الأخيرة، نتيجة النمو السكاني، والتوسع العمراني، وتطور النشاطات الاقتصادية، خاصة الصناعية منها. وقد رافق هذا التطور جهود حكومية كبيرة لتعزيز القدرات الإنتاجية وتحسين شبكات النقل والتوزيع.

أولًا: تطور إنتاج الطاقة الكهربائية في الجزائر

عرف إنتاج الطاقة الكهربائية في الجزائر ارتفاعًا مستمرًا منذ الاستقلال، حيث انتقل من مستويات محدودة إلى قدرات إنتاجية كبيرة تلبي الطلب الوطني المتزايد. ويعتمد إنتاج الكهرباء في الجزائر أساسًا على الطاقة الحرارية المعتمدة على الغاز الطبيعي، نظرًا لتوفره بكثرة وانخفاض تكلفته مقارنة بمصادر أخرى.

خلال السنوات الأخيرة، قامت الدولة بتوسيع قدرات الإنتاج من خلال إنجاز محطات كهرباء جديدة ذات قدرة عالية، وتحسين كفاءة المحطات القائمة، مما ساهم في تعزيز أمن التزويد الكهربائي. كما بدأت الجزائر في إدماج الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، ضمن مزيجها الطاقوي بهدف تنويع مصادر الإنتاج وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.[21]

ثانيًا: تطور استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر

شهد استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر نموًا متسارعًا، نتيجة الزيادة السكانية وتحسن مستوى المعيشة، إضافة إلى انتشار الأجهزة الكهربائية في القطاع المنزلي. ويُعد القطاع السكني من أكبر مستهلكي الكهرباء، يليه القطاع الصناعي ثم التجاري.

كما ساهمت سياسة دعم أسعار الكهرباء في ارتفاع الاستهلاك، حيث أدى انخفاض السعر النسبي للكهرباء إلى تشجيع الاستخدام المكثف، خاصة خلال فترات الذروة. وقد رافق ذلك تحديات تتعلق بارتفاع الطلب خلال المواسم الحارة بسبب الاستعمال المكثف لأجهزة التكييف.[43]

---

[1] وزارة الطاقة. (2020). التقرير السنوي لقطاع الطاقة في الجزائر. الجزائر.

[2] سونلغاز. (2021). التقرير السنوي لنشاطات الشركة. الجزائر.

[3] .وكالة الطاقة الدولية. (2022). التوقعات العالمية للطاقة 2022. باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية

[4] عبد الرحيم، محمد(2014) .

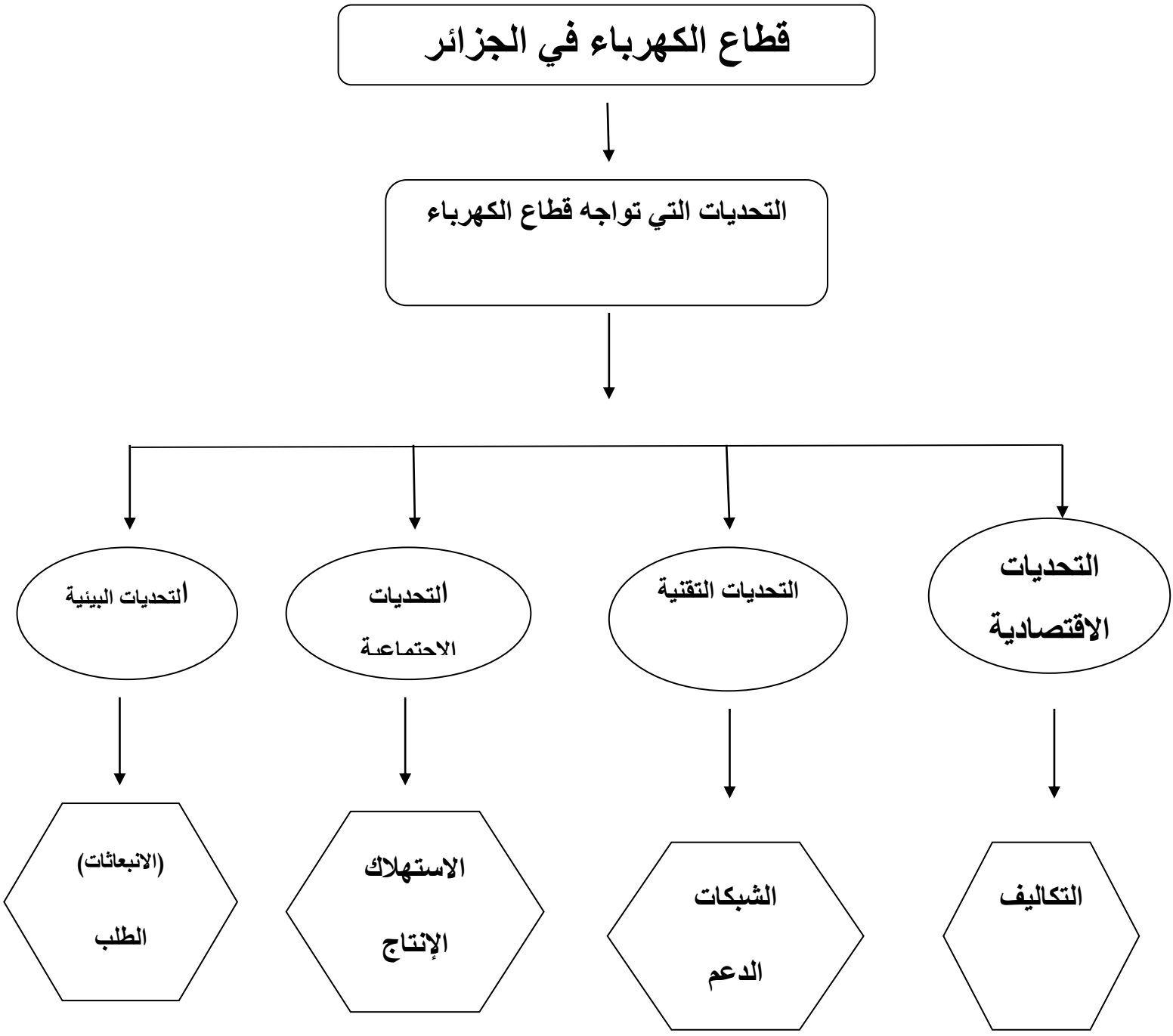
ثالثًا: العلاقة بين تطور الإنتاج والاستهلاك

أدى الارتفاع المستمر في استهلاك الكهرباء إلى ضرورة مواكبة ذلك بزيادة الإنتاج وتطوير البنية التحتية الكهربائية. وقد نجحت الجزائر نسبيًا في تحقيق توازن بين العرض والطلب، إلا أن استمرار النمو الاقتصادي والسكاني يفرض تحديات مستقبلية، تستوجب اعتماد سياسات ترشيد الاستهلاك وتحسين الكفاءة الطاقوية، إلى جانب تسريع الاستثمار في الطاقات المتجددة.

المطلب الثالث: التحديات التي تواجه قطاع الكهرباء في الجزائر

يمكن تصنيف التحديات التي تواجه قطاع الكهرباء في الجزائر إلى عدة فئات رئيسية كما هو موضح في الشكل التالي:

رسم توضيحي5:تصنيف التحديات التي تواجه قطاع الكهرباء في الجزائر



رغم الجهود الكبيرة التي بذلتها الدولة الجزائرية لتطوير قطاع الكهرباء وضمان تلبية الطلب الوطني، إلا أن هذا القطاع لا يزال يواجه عدة تحديات اقتصادية، تقنية وبيئية تؤثر على استدامته وكفاءته. وتزداد أهمية دراسة هذه التحديات في ظل تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية والنمو الاقتصادي والسكاني المستمر.

أولًا: الارتفاع المتزايد في الطلب على الكهرباء

يُعد النمو السريع في الطلب على الطاقة الكهربائية من أبرز التحديات التي تواجه قطاع الكهرباء في الجزائر، حيث يعود ذلك إلى الزيادة السكانية، والتوسع العمراني، وتحسن مستوى المعيشة، إضافة إلى الاعتماد المتزايد على الأجهزة الكهربائية، خاصة أجهزة التكييف خلال فصل الصيف. هذا الارتفاع يفرض ضغطًا كبيرًا على منظومة الإنتاج والنقل والتوزيع، ويزيد من فترات الذروة التي يصعب التحكم فيها.[21]

ثانيًا: الاعتماد الكبير على الغاز الطبيعي

يعتمد قطاع الكهرباء في الجزائر بشكل شبه كلي على الغاز الطبيعي في إنتاج الطاقة الكهربائية، وهو ما يشكل تحديًا استراتيجيًا، خاصة مع تزايد الاستهلاك المحلي للغاز على حساب الصادرات. هذا الاعتماد المفرط يجعل القطاع عرضة لتقلبات الطلب الداخلي ويؤثر على الأمن الطاقوي على المدى الطويل.[43]

ثالثًا: ضعف كفاءة الاستهلاك وغياب الترشيد الطاقوي

تعاني الجزائر من ضعف ثقافة ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية، نتيجة دعم الأسعار وغياب الوعي الطاقوي لدى المستهلكين. يؤدي ذلك إلى الاستهلاك المفرط، خاصة في القطاع السكني، وارتفاع الفاقد الطاقوي، مما يزيد من تكاليف الإنتاج والاستثمار في البنية التحتية دون تحقيق كفاءة اقتصادية.[65]

---

[1] سونلغاز. (2021). التقرير السنوي لنشاطات الشركة. الجزائر.

[2] وكالة الطاقة الدولية. (2022). التوقعات العالمية للطاقة 2022. باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[3] وزارة الطاقة .(2020) .*التقرير السنوي لقطاع الطاقة في الجزائر* .الجزائر.

[4] Aïssaoui, A. (2016). Energy policy and security in Algeria. Oxford Institute for Energy Studies.

[5] عبد الرحيم، محمد(2014) .

[6] البنك الدولي .(2019) .*تقرير التنمية في العالم* (*World Development Report*). واشنطن، الولايات المتحدة: البنك الدولي.

رابعًا: تحديات البنية التحتية وشبكات النقل والتوزيع

رغم توسع شبكة الكهرباء الوطنية، إلا أن بعض المناطق، خاصة النائية والجنوبية، تعاني من ضعف الشبكات وارتفاع تكاليف الربط والصيانة. كما تشكل الخسائر التقنية والتجارية في شبكات النقل والتوزيع تحديًا إضافيًا يؤثر على مردودية القطاع.[1]

خامسًا: التحديات البيئية والانتقال الطاقوي

يواجه قطاع الكهرباء في الجزائر تحديات بيئية متزايدة نتيجة الاعتماد على الوقود الأحفوري وما يترتب عنه من انبعاثات غازات الدفيئة. وفي هذا السياق، تسعى الجزائر إلى تطوير الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، إلا أن هذا المسار يواجه تحديات تتعلق بالتمويل، التكنولوجيا، ونقل الخبرة.[32]

[1] سونلغاز. (2021). التقرير السنوي لنشاطات الشركة. الجزائر.

[2] وكالة الطاقة الدولية .(2022) *التوقعات العالمية للطاقة 2022*. باريس، فرنسا: وكالة الطاقة الدولية.

[3] REN21. (2021). Renewables 2021 global status report. Paris: REN21 Secretariat.

خاتمة:

من خلال هذا الفصل، تم التطرق إلى الإطار النظري للطاقة الكهربائية باعتبارها عنصرًا أساسيًا في تحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية. وقد تم عرض المفاهيم الأساسية المتعلقة بالطاقة الكهربائية، وخصائصها، ومراحل إنتاجها ونقلها وتوزيعها، مع إبراز أهميتها في دعم مختلف القطاعات الاقتصادية.

كما تم التطرق إلى العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة الكهربائية، حيث تبين وجود ارتباط وثيق بين توسع النشاط الاقتصادي وارتفاع الطلب على الكهرباء، باعتبارها مدخلًا إنتاجيًا ضروريًا في الصناعة والخدمات، إضافة إلى دورها في تحسين مستوى معيشة الأفراد. وقد أظهرت الأدبيات الاقتصادية أن استهلاك الطاقة يعد من المؤشرات الدالة على ديناميكية الاقتصاد وتطوره.

وفيما يخص الجزائر، فقد تم عرض تطور قطاع الكهرباء من حيث مكوناته، وإنتاجه، واستهلاكه، إلى جانب التحديات التي يواجهها، خاصة ما يتعلق بارتفاع الطلب، والاعتماد الكبير على الغاز الطبيعي، والحاجة إلى تحسين الكفاءة الطاقوية وتعزيز الطاقات المتجددة.

وبناءً على ما سبق، يشكل هذا الإطار النظري قاعدة أساسية لفهم وتحليل تطور استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر، مما يمهد للانتقال إلى الدراسة القياسية في الفصل الثاني، والتي تهدف إلى قياس وتحليل العوامل المؤثرة في استهلاك الكهرباء والتنبؤ باتجاهاته المستقبلية.

الفصل الثاني:

الدراسات السابقة

الفصل الثاني: الدراسات السابقة

تُعدّ الطاقة الكهربائية من أهم الدعائم الأساسية للنشاط الاقتصادي والاجتماعي، حيث أصبحت عنصرًا ضروريًا في مختلف القطاعات الإنتاجية والخدمية والمعيشية. ويُعتبر استهلاك الطاقة الكهربائية من أبرز المؤشرات التي تعكس مستوى التطور الاقتصادي ودرجة التقدم الصناعي والتكنولوجي لأي دولة. ومع التزايد المستمر للطلب على الكهرباء نتيجة النمو السكاني والتوسع العمراني والتطور الصناعي، أصبح موضوع التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية يحظى باهتمام متزايد من طرف الباحثين وصناع القرار، لما له من أهمية في التخطيط المستقبلي وضمان التوازن بين العرض والطلب على الطاقة.

ويُساهم التنبؤ الدقيق باستهلاك الكهرباء في مساعدة الجهات المختصة على وضع سياسات فعالة لتطوير قطاع الطاقة، وتحسين كفاءة الإنتاج والتوزيع، وتفادي الاختلالات المرتبطة بالعجز الطاقوي أو سوء التخطيط، إضافة إلى دعم القرارات الاستثمارية المتعلقة بتوسيع القدرات الإنتاجية وتطوير البنية التحتية الكهربائية.

وفي هذا السياق، اهتمت العديد من الدراسات السابقة، المحلية والأجنبية، بتحليل تطور استهلاك الطاقة الكهربائية والتنبؤ به باستخدام مناهج وأساليب قياسية وإحصائية مختلفة. فقد اعتمدت بعض الدراسات على نماذج السلاسل الزمنية التقليدية، مثل نماذج ARIMA وBox-Jenkins، في حين اتجهت دراسات أخرى إلى استخدام الأساليب الحديثة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي والشبكات العصبية والنماذج الهجينة، بهدف تحسين دقة التنبؤ والتعامل مع الطبيعة المعقدة وغير الخطية لبيانات الطاقة.

ورغم اختلاف هذه الدراسات من حيث البيئة الاقتصادية والفترة الزمنية والمنهجية المعتمدة، إلا أنها اتفقت على أهمية التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية باعتباره أداة أساسية لدعم التخطيط الطاقوي وتحقيق التنمية المستدامة.

وانطلاقًا من ذلك، يهدف هذا الفصل إلى عرض وتحليل أهم الدراسات السابقة المتعلقة بالتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية، سواء المحلية أو الأجنبية، مع إبراز أهم النتائج المتوصل إليها، وأوجه التشابه والاختلاف بينها، بما يساعد على تحديد موقع الدراسة الحالية وإبراز مساهمتها العلمية في هذا المجال.

1. الدراسات المحلية الجزائرية حول التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية

الدراسة الاولى: دراسة تنبؤية لتقلبات استهلاك الكهرباء باستخدام نماذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة – دراسة حالة ولاية المدية (2011–2017)

تناولت دراسة شرماط طاهر وبوعيشاوي يوسف (2019) موضوع نمذجة وتنبؤ استهلاك الطاقة الكهربائية على المستوى المحلي، من خلال تطبيق نماذج السلاسل الزمنية على حالة ولاية المدية. وهدفت هذه الدراسة إلى تحليل سلوك استهلاك الكهرباء والتنبؤ به على المدى القصير، بالاعتماد على نماذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة (ARMA)، وذلك خلال الفترة الممتدة من جانفي 2011 إلى ديسمبر 2017.

واعتمدت الدراسة على بيانات شهرية لاستهلاك الكهرباء، حيث بلغ عدد المشاهدات 84 مشاهدة، وهو ما يسمح بتحليل أدق للتقلبات الدورية والموسمية مقارنة بالبيانات السنوية. كما استندت الدراسة إلى منهجية بوكس–جينكنز (Box-Jenkins) في بناء النموذج، مع توظيف مجموعة من الاختبارات الإحصائية، من بينها اختبار ديكي–فولر (Dickey-Fuller) للتحقق من استقرارية السلسلة الزمنية، إضافة إلى اختبار تحليل التباين (ANOVA) لدراسة الفروقات بين الفترات الزمنية المختلفة.

وقد توصلت الدراسة إلى أن استهلاك الكهرباء في ولاية المدية يتبع نموذجًا من نوع(SARMA 4,0)، مع وجود اتجاه عام متزايد يعكس النمو المستمر في الطلب على الطاقة الكهربائية، إلى جانب مكون موسمي واضح يبرز التذبذب الدوري في الاستهلاك، خاصة بين فصول السنة. ويعكس هذا السلوك تأثر استهلاك الكهرباء بعوامل متعددة، من بينها التغيرات المناخية، خاصة ارتفاع درجات الحرارة خلال فصل الصيف، إضافة إلى التغيرات في نمط الاستهلاك لدى الأسر والمؤسسات.

كما بينت النتائج أن نماذج السلاسل الزمنية تُعد أدوات فعالة في التنبؤ بالاستهلاك الكهربائي على المدى القصير، حيث تمكنت من التقاط الأنماط الزمنية المختلفة، سواء الاتجاه العام أو المكون الموسمي، وهو ما يسمح بتقديم توقعات قريبة من الواقع يمكن الاعتماد عليها في التخطيط الطاقوي.

ورغم أهمية هذه الدراسة، إلا أنها تظل محدودة من حيث نطاقها الجغرافي، حيث اقتصرت على ولاية واحدة فقط، وهو ما قد لا يعكس بشكل كامل سلوك استهلاك الكهرباء على المستوى الوطني. كما أن تركيزها على النماذج الإحصائية دون إدماج متغيرات اقتصادية صريحة، مثل الدخل أو النشاط الاقتصادي، قد يحد من قدرتها التفسيرية.

الدراسة السيناريو المستقبلي لاستهلاك طاقة الكهرباء والغاز في الجزائر – دراسة قياسية تنبؤية

تناولت دراسة ميهوب وبوجعدار (2023) موضوع التنبؤ باستهلاك الطاقة في الجزائر، مع التركيز على كل من الطاقة الكهربائية والغاز الطبيعي، في ظل التزايد المستمر للطلب على الطاقة وأهمية هذا القطاع في دعم التنمية الاقتصادية. وقد هدفت هذه الدراسة إلى تحليل واقع استهلاك الطاقتين، وبناء نموذج قياسي تنبؤي يمكن من تقدير حجم الاستهلاك المستقبلي إلى غاية سنة 2030.

واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، إلى جانب المنهج القياسي، حيث تم استخدام منهجية بوكس–جينكنز (Box-Jenkins) من خلال تطبيق نماذج الانحدار الذاتي المتكامل للمتوسطات المتحركة (ARIMA)، وذلك على بيانات سنوية للاستهلاك الكلي لكل من الكهرباء والغاز خلال الفترة الممتدة من 1994 إلى 2020. وقد سمحت هذه المنهجية بتحليل خصائص السلاسل الزمنية واختيار النماذج الأكثر ملاءمة للتنبؤ.

وتوصلت الدراسة إلى أن النموذج الأنسب للتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية هو نموذج ARIMA (1,1,1))، في حين تم اعتماد نموذج ARIMA (0,1) للتنبؤ باستهلاك الغاز الطبيعي، وهو ما يعكس اختلاف طبيعة تطور كل من السلسلتين الزمنيتين. كما أظهرت النتائج أن استهلاك الجزائر من الكهرباء والغاز يتجه نحو الارتفاع المستمر خلال السنوات القادمة، حيث يُتوقع أن يرتفع استهلاك الكهرباء بمعدل يقارب 2.5 تيرا جول سنويًا، في حين يرتفع استهلاك الغاز بحوالي 50000 تيرا جول سنويًا إلى غاية سنة 2030.

ومن جهة أخرى، أبرزت الدراسة أن الجزائر تعتمد بشكل كبير جدًا على الطاقات الأحفورية في إنتاج الكهرباء، حيث تصل هذه النسبة إلى حوالي 95%، وهو ما يطرح تحديات حقيقية تتعلق بأمن الطاقة واستدامة الموارد الطبيعية. كما تعكس هذه النتائج استمرار الضغط على قطاع الطاقة، في ظل تزايد الطلب المحلي وتراجع القدرة على التصدير في المدى الطويل.

وفي ضوء هذه النتائج، أوصت الدراسة بضرورة إعادة النظر في السياسة الطاقوية، من خلال ترشيد استهلاك الطاقة والحد من التبذير، إضافة إلى التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، من أجل تنويع مزيج الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

وتبرز أهمية هذه الدراسة بالنسبة للبحث الحالي في إبراز الاتجاه التصاعدي لاستهلاك الطاقة في الجزائر، وأهمية استخدام النماذج القياسية في التنبؤ، غير أن الدراسة الحالية تسعى إلى تطوير هذا

التحليل من خلال إدماج متغيرات تفسيرية إضافية، بما يسمح ببناء نموذج أكثر دقة وشمولية في تفسير والتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية.

الدراسة: دراسة محلية حول التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر

تناولت إحدى دراسات الماستر الحديثة (2025/2024) موضوع التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر، في ظل التزايد المستمر للطلب على الكهرباء وأهمية هذا القطاع في دعم التنمية الاقتصادية. وقد هدفت هذه الدراسة إلى مقارنة فعالية النماذج القياسية التقليدية، خاصة منهجية بوكس–جينكنز (Box-Jenkins)، مع النماذج الحديثة القائمة على تقنيات الذكاء الاصطناعي، وعلى رأسها الشبكات العصبية الاصطناعية، وذلك من أجل تحديد النموذج الأكثر دقة في التنبؤ بالاستهلاك الكهربائي.

واعتمدت الدراسة على بيانات سنوية لاستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر خلال الفترة الممتدة من 1980 إلى 2021، حيث تم اختيار هذه الفترة لكونها تعكس مختلف التحولات الاقتصادية والديموغرافية التي عرفها الاقتصاد الجزائري. كما اعتمدت الدراسة على منهج قياسي يجمع بين عدة أدوات تحليلية، تمثلت في نماذج السلاسل الزمنية وفق منهجية Box-Jenkins، وتقنيات التمهيد الأسي، إضافة إلى الشبكات العصبية الاصطناعية، وذلك بهدف إجراء مقارنة دقيقة بين هذه النماذج من حيث القدرة التفسيرية ودقة التنبؤ.

وقد تم استخدام مجموعة من البرامج الإحصائية المتخصصة، مثل EViews وSPSS، من أجل معالجة البيانات واختبار النماذج واختيار النموذج الأمثل، وذلك بالاعتماد على مجموعة من المؤشرات الإحصائية، خاصة متوسط مربع الخطأ (MSE) وجذر متوسط مربع الخطأ (RMSE)، والتي تُعد من أهم المعايير المستخدمة في تقييم دقة النماذج التنبؤية.

وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، حيث أظهرت وجود اتجاه تصاعدي واضح في استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر خلال فترة الدراسة، وهو ما يعكس تزايد الطلب على الكهرباء نتيجة مجموعة من العوامل، من أبرزها النمو السكاني، وتحسن مستوى المعيشة، والتوسع في استخدام الأجهزة الكهربائية، إضافة إلى التطور التكنولوجي والتوسع في الأنشطة الاقتصادية، خاصة الصناعية والفلاحية.

ومن جهة أخرى، أظهرت الدراسة أن النماذج المستخدمة قادرة على تقديم تنبؤات قريبة من الواقع، حيث أشارت النتائج إلى أن استهلاك الكهرباء بلغ حوالي 76 مليار كيلواط/ساعة سنة 2020، مع توقعات

ببلوغه مستويات أعلى في السنوات القادمة، وهو ما يعكس استمرار الضغط على قطاع الطاقة الكهربائية في الجزائر.

كما أكدت الدراسة على وجود تأثير واضح لعدة عوامل في تحديد استهلاك الكهرباء، من بينها العوامل الديموغرافية مثل النمو السكاني، والعوامل الاقتصادية مثل التوسع الصناعي، إضافة إلى العوامل المناخية، خاصة ارتفاع درجات الحرارة، والتي تؤدي إلى زيادة الطلب على الكهرباء خلال فترات الذروة.

ورغم أهمية النتائج التي توصلت إليها الدراسة، إلا أنها لم تخلُ من بعض النقائص، حيث ركزت بشكل كبير على المقارنة التقنية بين النماذج دون التعمق الكافي في التحليل الاقتصادي للعوامل المفسرة للاستهلاك، كما لم تعتمد بشكل مباشر على إدماج متغيرات اقتصادية قياسية مثل الناتج المحلي الإجمالي داخل النماذج التنبؤية. بالإضافة إلى ذلك، فإن اعتمادها على بيانات سنوية فقط قد يحد من دقة التنبؤ على المدى القصير، خاصة في ظل التقلبات الموسمية التي يعرفها استهلاك الكهرباء.

وبناءً على ذلك، تبرز أهمية هذه الدراسة في توجيه البحث الحالي نحو اعتماد نموذج قياسي أكثر شمولية، يجمع بين الدقة الإحصائية والتحليل الاقتصادي، من خلال إدماج المتغيرات التفسيرية الأساسية، بهدف تحسين جودة التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر وتقديم نتائج أكثر دقة وواقعية

الدراسة: التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر باستعمال منهجية بوكس–جنكينز وأسلوب التمليس الأسي

تناولت دراسة مليوي عبد الغني ونعمان محمد عبد الجليل وصاري حسون صلاح الدين (2022) موضوع التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر، في ظل التزايد المستمر للطلب على الكهرباء وأهمية هذا القطاع في دعم النشاط الاقتصادي. وقد هدفت الدراسة إلى بناء نماذج قياسية دقيقة للتنبؤ بالاستهلاك خلال المدى القصير والمتوسط، بالاعتماد على بيانات سنوية للفترة الممتدة من 1980 إلى 2021.

واعتمدت الدراسة على منهجية قياسية قائمة على نماذج السلاسل الزمنية، حيث تم توظيف منهجية بوكس–جنكينز (Box-Jenkins) من خلال نماذج ARIMA وذلك بهدف مقارنة أداء هذه النماذج وتحديد النموذج الأكثر دقة في التنبؤ. كما تم استخدام برامج إحصائية مثل EViews لإجراء اختبارات الاستقرارية وتقدير النماذج واختيار الصيغة المثلى.

وتوصلت الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر يتسم باتجاه عام متزايد، يعكس النمو المستمر في الطلب نتيجة التوسع الاقتصادي والنمو السكاني. كما أظهرت النتائج أن النموذج الأمثل وفق منهجية بوكس–جنكينز هو نموذج من نوع (MA2)، حيث قدم أفضل أداء من حيث دقة التنبؤ مقارنة بباقي النماذج.

وبالاعتماد على هذا النموذج، قدرت الدراسة القيم المستقبلية لاستهلاك الكهرباء، حيث بلغ حوالي 75.82 تيراواط/ساعة سنة 2022، وارتفع إلى 78.99 سنة 2023، ثم إلى 82.98 سنة 2024، ليصل إلى 87.07 تيراواط/ساعة سنة 2025، وهو ما يعكس استمرار الاتجاه التصاعدي للاستهلاك. كما أظهرت نماذج التمليس الأسي (Brown وHolt) نتائج متقاربة، إلا أنها كانت أقل دقة نسبيًا مقارنة بمنهجية Box-Jenkins.

وفي ضوء هذه النتائج، أكدت الدراسة على أهمية استخدام النماذج القياسية في التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية، لما لها من دور في تحسين دقة التوقعات ودعم عملية التخطيط الطاقوي. كما أوصت بضرورة تحسين سياسات إنتاج الكهرباء لتفادي العجز والانقطاعات، إضافة إلى التوجه نحو تنويع مصادر الطاقة، خاصة من خلال الاستثمار في الطاقات المتجددة، من أجل تقليل الضغط على الموارد التقليدية.

ورغم أهمية هذه الدراسة، إلا أنها اعتمدت على نماذج أحادية (Univariate) دون إدماج متغيرات اقتصادية مفسرة، مثل الناتج المحلي الإجمالي أو عدد السكان، وهو ما قد يحد من قدرتها على تفسير سلوك الاستهلاك بشكل شامل. كما أن استخدام بيانات سنوية فقط قد لا يسمح بالتقاط التقلبات قصيرة المدى.

وتبرز أهمية هذه الدراسة بالنسبة للبحث الحالي في تأكيد فعالية نماذج السلاسل الزمنية في التنبؤ بالاستهلاك الكهربائي في الجزائر، مع السعي إلى تطوير هذا التحليل من خلال إدماج متغيرات تفسيرية إضافية وبناء نموذج أكثر شمولية ودقة.

الدراسة: التنبؤ باستهلاك الطاقة المتجددة في الجزائر آفاق 2030 باستخدام نموذج الانحدار الذاتي المتجه (VAR)

تناولت دراسة بن رمضان وسطاح (2024) موضوع التنبؤ باستهلاك الطاقة المتجددة في الجزائر في أفق سنة 2030، في ظل التحولات التي يشهدها قطاع الطاقة والتوجه نحو تنويع مصادرها. وقد هدفت الدراسة إلى تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة المتجددة وبعض المتغيرات الاقتصادية الكلية، مثل الناتج المحلي الإجمالي، ومعدل البطالة، وإنتاج الكهرباء من الطاقات المتجددة، مع بناء نموذج قياسي قادر على التنبؤ بمستقبل هذا الاستهلاك.

واعتمدت الدراسة على منهجية قياسية قائمة على نماذج السلاسل الزمنية متعددة المتغيرات، حيث تم استخدام نموذج الانحدار الذاتي المتجه (VAR)، بالاعتماد على بيانات سنوية للفترة الممتدة من 1991 إلى 2023. كما تم إجراء مجموعة من الاختبارات الإحصائية، من بينها اختبارات الاستقرارية والتكامل المشترك، إضافة إلى تحليل ديناميكية النموذج، وذلك بهدف ضمان دقة التقديرات وموثوقية النتائج.

وتوصلت الدراسة إلى وجود علاقات ديناميكية بين استهلاك الطاقة المتجددة والمتغيرات الاقتصادية المدروسة، حيث تبين أن هذه المتغيرات تؤثر بدرجات متفاوتة في تطور الاستهلاك. كما أظهرت النتائج قدرة نموذج (VAR) على تفسير هذه العلاقات والتنبؤ بها بكفاءة، مما يجعله أداة مناسبة لتحليل الظواهر الاقتصادية المعقدة.

ومن جهة أخرى، أشارت نتائج التنبؤ إلى وجود اتجاه تصاعدي مستمر في استهلاك الطاقة المتجددة في الجزائر خلال الفترة (2024–2030)، وهو ما يعكس التوجه نحو تعزيز الاعتماد على هذا النوع من الطاقة في المستقبل. كما بينت الدراسة أن بعض المتغيرات، مثل الناتج المحلي الإجمالي وإنتاج الكهرباء من الطاقات المتجددة، تلعب دورًا مهمًا في تفسير تقلبات الاستهلاك، وإن بدرجات متفاوتة.

وفي ضوء هذه النتائج، أوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاستثمار في قطاع الطاقة المتجددة لمواكبة الطلب المتزايد، والاعتماد على النماذج القياسية الحديثة في التنبؤ والتخطيط الطاقوي، إضافة إلى تحديث هذه النماذج بشكل دوري لمواكبة التغيرات الاقتصادية والتكنولوجية. كما أكدت على أهمية دعم السياسات التي تشجع التحول نحو الطاقات النظيفة، بما يساهم في تحقيق التنمية المستدامة.

ورغم أهمية هذه الدراسة، إلا أنها ركزت على الطاقة المتجددة فقط دون التطرق بشكل مباشر إلى استهلاك الكهرباء التقليدية، كما أن اعتمادها على بيانات سنوية قد لا يسمح بتحليل التقلبات قصيرة المدى بدقة.

2. الدراسات الأجنبية حول التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية

الدراسة: التنبؤ بالحمل الكهربائي باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية

تناولت دراسة Hippert H. S. وPedreira C. E. و2001) Souza R. C.) موضوع التنبؤ بالحمل الكهربائي على المدى القصير، حيث تُعد من الدراسات المرجعية التي ركزت على تقييم فعالية الشبكات العصبية الاصطناعية في نمذجة الطلب على الكهرباء، مقارنة بالنماذج الإحصائية التقليدية المعتمدة على السلاسل الزمنية، خاصة نماذج ARIMA.

وقد اعتمدت الدراسة على منهجية تحليلية قائمة على مراجعة شاملة لعدد كبير من التطبيقات التي استخدمت الشبكات العصبية في التنبؤ بالحمل الكهربائي، مع التركيز على كيفية بناء هذه النماذج وتدريبها، إضافة إلى طبيعة البيانات المستخدمة. وشملت هذه البيانات عادةً السلاسل الزمنية التاريخية للاستهلاك الكهربائي، إلى جانب مجموعة من المتغيرات التفسيرية، مثل درجات الحرارة، وأيام الأسبوع، والعوامل الموسمية، وهو ما يسمح بتحسين دقة التنبؤ.

وتوصلت الدراسة إلى أن الشبكات العصبية الاصطناعية تتمتع بقدرة عالية على تمثيل العلاقات غير الخطية والمعقدة بين المتغيرات، وهو ما يجعلها أكثر كفاءة في التعامل مع الطبيعة الديناميكية لاستهلاك الكهرباء، خاصة في ظل وجود تقلبات زمنية واضحة وأنماط استهلاك غير مستقرة. كما بينت النتائج أن هذه النماذج قادرة على التكيف مع التغيرات المفاجئة في الطلب، بفضل خاصية التعلم من البيانات وتحسين الأداء مع مرور الوقت.

وفي إطار المقارنة مع النماذج التقليدية، أوضحت الدراسة أن نماذج ARIMA، رغم فعاليتها في تحليل السلاسل الزمنية الخطية، إلا أنها تواجه صعوبات في تمثيل السلوك غير الخطي للطلب على الكهرباء، مما قد يحد من دقة التنبؤ في بعض الحالات. في المقابل، أظهرت الشبكات العصبية أداءً أفضل من حيث دقة التنبؤ، خاصة في البيئات التي تتسم بتعقيد الأنماط الاستهلاكية وتداخل العوامل المؤثرة.

كما أكدت الدراسة أن نجاح استخدام الشبكات العصبية لا يعتمد فقط على طبيعة النموذج، بل يرتبط أيضًا بجودة البيانات، واختيار البنية المناسبة للشبكة (عدد الطبقات والعُقد)، إضافة إلى خوارزميات التدريب المستعملة، وهو ما يتطلب معرفة تقنية متقدمة.

وبناءً على ذلك، أوصت الدراسة بضرورة اعتماد نماذج هجينة تجمع بين الشبكات العصبية والنماذج التقليدية، بهدف الاستفادة من مزايا كل منهج وتحسين دقة التنبؤ. كما تُعد هذه الدراسة من المراجع

الأساسية التي دعمت التوجه نحو استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجال التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية.

ورغم أهمية هذه الدراسة، إلا أنها تظل ذات طابع عام، حيث اعتمدت على مراجعة تطبيقات متعددة دون التركيز على حالة تطبيقية محددة، كما لم تُدرج بشكل مباشر متغيرات اقتصادية ضمن النماذج، وهو ما قد يحد من قدرتها التفسيرية في التحليل الاقتصادي.

الدراسة: استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في التنبؤ بالسلاسل الزمنية

تناولت دراسة Zhang G. P. وPatuwo B. E وHu M. Y. (1998) موضوع استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في التنبؤ بالسلاسل الزمنية، حيث تُعد من الدراسات الرائدة التي سعت إلى تقييم كفاءة هذه النماذج مقارنة بالأساليب الإحصائية التقليدية، خاصة في المجالات التي تتسم بالتعقيد وعدم الخطية، مثل استهلاك الطاقة الكهربائية.

وقد اعتمدت الدراسة على منهج تحليلي مقارن، من خلال مراجعة عدد كبير من التطبيقات العملية التي استخدمت الشبكات العصبية في التنبؤ، وذلك بهدف إبراز خصائص هذه النماذج وقدرتها على التعامل مع مختلف أنواع البيانات. كما قامت الدراسة بمقارنة أداء الشبكات العصبية مع نماذج تقليدية، مثل نماذج الانحدار الخطي ونماذج السلاسل الزمنية من نوع ARIMA، وذلك لتحديد مدى تفوقها من حيث دقة التنبؤ.

وتوصلت الدراسة إلى أن الشبكات العصبية الاصطناعية تمتلك قدرة عالية على تمثيل العلاقات المعقدة وغير الخطية بين المتغيرات، وهو ما يجعلها أكثر ملاءمة للتنبؤ في الحالات التي تتسم بالتقلب وعدم الاستقرار، مقارنة بالنماذج التقليدية التي تفترض غالبًا وجود علاقات خطية. كما بينت النتائج أن هذه النماذج قادرة على تحقيق دقة تنبؤية مرتفعة، خاصة عند التعامل مع سلاسل زمنية معقدة مثل استهلاك الطاقة الكهربائية.

غير أن الدراسة أكدت في الوقت ذاته أن نجاح الشبكات العصبية لا يعتمد فقط على طبيعة البيانات، بل يرتبط أيضًا بحسن اختيار هيكل الشبكة (عدد الطبقات، وعدد العُقد، ودوال التنشيط)، إضافة إلى طريقة تدريبها، وهو ما يتطلب خبرة تقنية ومعرفة دقيقة بخصائص البيانات المدروسة.

وبناءً على ذلك، خلصت الدراسة إلى أن الشبكات العصبية الاصطناعية تمثل أداة فعالة ومتقدمة في مجال التنبؤ بالسلاسل الزمنية، خاصة في البيئات التي تتسم بالتعقيد وعدم الخطية، مما يجعلها مناسبة بشكل خاص لدراسة استهلاك الطاقة الكهربائية.

ورغم أهمية هذه النتائج، إلا أن الدراسة ذات طابع عام، حيث اعتمدت على مراجعة تطبيقات متعددة دون التركيز على حالة دراسية محددة، كما أنها لم تدمج بشكل مباشر المتغيرات الاقتصادية في نماذج التنبؤ، وهو ما قد يحد من قدرتها على تفسير الظواهر الاقتصادية بشكل شامل.

وتبرز أهمية هذه الدراسة بالنسبة للبحث الحالي في تأكيد فعالية النماذج غير الخطية، خاصة الشبكات العصبية الاصطناعية، في تحسين دقة التنبؤ باستهلاك الكهرباء، وهو ما يدعم التوجه نحو استخدام هذه التقنيات إلى جانب النماذج القياسية التقليدية، بهدف بناء نموذج أكثر دقة وواقعية

الدراسة: التنبؤ بالحمل الكهربائي باستخدام تقنيات التعلم الآلي والنماذج الاحتمالية

تناولت دراسة Hong Tao وFan Shu (2016) موضوع التنبؤ بالحمل الكهربائي باستخدام تقنيات التعلم الآلي الحديثة، حيث هدفت إلى تطوير منهجيات التنبؤ التقليدية من خلال إدخال البعد الاحتمالي (Probabilistic Forecasting)، بدلًا من الاعتماد على التنبؤات النقطية التي تقدم قيمة واحدة فقط دون مراعاة درجة عدم اليقين.

واعتمدت الدراسة على منهجية تحليلية مقارنة، من خلال تقييم أداء مجموعة من نماذج التعلم الآلي، من بينها الشبكات العصبية الاصطناعية، وآلات الدعم الناقل (SVM)، ونماذج الغابات العشوائية (Random Forest)، وذلك بهدف تحديد مدى قدرتها على تحسين دقة التنبؤ بالحمل الكهربائي، خاصة في ظل بيئة تتسم بالتقلب وعدم الاستقرار. كما ركزت الدراسة على قياس جودة التنبؤات ليس فقط من حيث الدقة، بل أيضًا من حيث قدرتها على تمثيل عدم اليقين المرتبط بالطلب على الكهرباء.

وتوصلت الدراسة إلى أن النماذج الحديثة المعتمدة على التعلم الآلي توفر دقة تنبؤية أعلى ومرونة أكبر مقارنة بالنماذج التقليدية، خاصة عند التعامل مع بيانات معقدة ومتغيرة تتسم بوجود علاقات غير خطية بين المتغيرات. كما بينت النتائج أن إدخال البعد الاحتمالي في التنبؤ يسمح بالحصول على نطاقات تنبؤية (PredictionIntervals) بدلًا من قيم محددة، وهو ما يعزز من جودة القرارات المتخذة في قطاع الطاقة، خاصة فيما يتعلق بإدارة الطلب وتخطيط الإنتاج.

ومن جهة أخرى، أكدت الدراسة أن الاعتماد على التنبؤات الاحتمالية يساهم في تحسين إدارة المخاطر المرتبطة بعدم اليقين في الطلب على الكهرباء، وهو ما يمثل تطورًا مهمًا مقارنة بالأساليب التقليدية التي تهمل هذا الجانب. كما أشارت إلى أن اختيار النموذج المناسب يعتمد على طبيعة البيانات ومدى تعقيدها، إضافة إلى جودة المعطيات المتاحة.

وبناءً على ذلك، خلصت الدراسة إلى أن مستقبل التنبؤ بالحمل الكهربائي يتجه نحو استخدام نماذج متقدمة تجمع بين تقنيات التعلم الآلي والأساليب الإحصائية، مع التركيز على التنبؤ الاحتمالي كأداة أساسية لتحسين دقة وموثوقية التوقعات.

ورغم الأهمية الكبيرة لهذه الدراسة، إلا أنها تظل ذات طابع تقني بالدرجة الأولى، حيث ركزت على الجوانب المنهجية دون التعمق في التحليل الاقتصادي، كما لم تُطبق على حالة دولة محددة، وهو ما قد يحد من تعميم نتائجها بشكل مباشر.

وتبرز أهمية هذه الدراسة بالنسبة للبحث الحالي في تأكيد ضرورة تجاوز التنبؤات التقليدية نحو نماذج أكثر تطورًا تأخذ بعين الاعتبار عدم اليقين، وهو ما يساهم في تحسين دقة التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية ودعم عملية اتخاذ القرار.

الدراسة: التنبؤ بأسعار الكهرباء والطلب عليها في أسواق الطاقة

تناولت دراسة WeronRafał (2014) موضوع التنبؤ بأسعار الكهرباء والطلب عليها في أسواق الطاقة، حيث هدفت إلى تقديم تحليل شامل لمختلف النماذج المستخدمة في هذا المجال، مع التركيز على التحديات المرتبطة بطبيعة هذه الأسواق التي تتسم بدرجة عالية من التقلب وعدم الاستقرار.

وقد اعتمدت الدراسة على منهج تحليلي قائم على مراجعة الأدبيات، من خلال استعراض مجموعة واسعة من النماذج الإحصائية التقليدية، مثل نماذج السلاسل الزمنية (ARIMA)، إلى جانب النماذج الحديثة المعتمدة على تقنيات التعلم الآلي، كالشبكات العصبية الاصطناعية، وذلك بهدف تقييم مدى قدرتها على التنبؤ في بيئة تتسم بعدم اليقين.

وأظهرت نتائج الدراسة أن أسواق الكهرباء تتميز بخصائص معقدة، من بينها التقلبات الحادة، والتغيرات المفاجئة في الطلب، إضافة إلى تأثير العوامل الخارجية مثل الطقس والسياسات الطاقوية، وهو ما يجعل عملية التنبؤ أكثر صعوبة مقارنة بالأسواق التقليدية. كما بينت أن النماذج الإحصائية التقليدية، رغم أهميتها، لم تعد كافية لوحدها لتفسير هذا التعقيد، خاصة في ظل وجود علاقات غير خطية بين المتغيرات.

وفي هذا السياق، أكدت الدراسة على أهمية استخدام النماذج الحديثة، خاصة تلك القائمة على التعلم الآلي، لما تتمتع به من قدرة على التقاط الأنماط المعقدة والتكيف مع التغيرات المستمرة في البيانات. كما أشارت إلى أن النماذج الهجينة، التي تجمع بين الأساليب الإحصائية التقليدية وتقنيات الذكاء الاصطناعي، تمثل الاتجاه الأكثر فاعلية في تحسين دقة التنبؤ بأسعار الكهرباء والطلب عليها.

وبناءً على ذلك، خلصت الدراسة إلى أن مستقبل التنبؤ في قطاع الطاقة يتجه نحو استخدام نماذج أكثر تطورًا ومرونة، قادرة على التعامل مع التعقيد المتزايد في بيانات الطاقة، خاصة في ظل التحولات التي تعرفها الأسواق الطاقوية العالمية.

ورغم الأهمية العلمية لهذه الدراسة، إلا أنها ذات طابع نظري عام، حيث ركزت على تحليل النماذج دون تطبيق مباشر على حالة دراسية محددة، كما لم تتناول بشكل تفصيلي الأبعاد الاقتصادية الخاصة بكل دولة.

3. أوجه التشابه، الاختلاف والمقارنة بينهما

أولاً: أوجه التشابه بين الدراسات السابقة

تتفق معظم الدراسات السابقة، سواء المحلية أو الأجنبية، في اعتمادها على مجموعة من الأسس المنهجية المشتركة في تحليل وتنبؤ استهلاك الطاقة الكهربائية، وهو ما يعكس وجود إطار نظري وقياسي موحد نسبيًا في هذا المجال.

فمن حيث طبيعة البيانات، اعتمدت أغلب الدراسات على السلاسل الزمنية التاريخية كقاعدة أساسية للتحليل والتنبؤ، باعتبارها الأداة الأكثر ملاءمة لدراسة تطور استهلاك الطاقة الكهربائية عبر الزمن. ويُعزى هذا الاختيار إلى قدرة هذا النوع من البيانات على التقاط الديناميكيات الزمنية للتغيرات في الاستهلاك، خاصة في ظل ارتباطه بعوامل متعددة كالنمو الاقتصادي والتغيرات السكانية والتطور التكنولوجي.

أما من حيث المنهجية القياسية، فقد شكلت منهجية بوكس–جنكينز (Box-Jenkins) والنماذج الخطية من نوع ARIMA وSARMA القاسم المشترك بين معظم الدراسات، سواء باعتبارها نماذج رئيسية معتمدة في التقدير، كما في العديد من الدراسات التطبيقية على الجزائر، أو كنماذج مرجعية يتم الاعتماد عليها للمقارنة مع النماذج الحديثة، خاصة في الدراسات الأجنبية.

وفيما يتعلق بطبيعة السلاسل الزمنية، أجمعت الدراسات على أن استهلاك الطاقة الكهربائية يتسم باتجاه عام متزايد، يعكس النمو المستمر في الطلب، وهو ما يرتبط بالتوسع الاقتصادي وارتفاع مستوى المعيشة. كما تبين أن هذه السلاسل غالبًا ما تكون غير مستقرة في مستوياتها، الأمر الذي يستدعي إجراء الفروق (Differencing) لتحقيق الاستقرارية قبل بناء النماذج القياسية.

كما يظهر التشابه بين الدراسات في اعتمادها الكبير على النماذج الأحادية (UnivariateModels)، حيث يتم التركيز على القيم التاريخية لمتغير الاستهلاك فقط دون إدماج متغيرات تفسيرية أخرى. ويظهر هذا التوجه بوضوح في معظم الدراسات المحلية التي ركزت على الجانب التنبؤي أكثر من التحليل التفسيري.

ومن حيث النتائج، فقد توصلت أغلب الدراسات إلى وجود اتجاه تصاعدي مستمر في استهلاك الطاقة الكهربائية، سواء على المستوى الوطني أو الدولي، وهو ما يعكس تزايد الاعتماد على الكهرباء في مختلف الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية.

ثانياً: أوجه الاختلاف بين الدراسات السابقة

رغم هذا الاتفاق العام، إلا أن الدراسات السابقة أظهرت تباينًا واضحًا في عدد من الجوانب المنهجية والتطبيقية، مما يعكس تطور أساليب التحليل القياسي وتنوع المقاربات المعتمدة في دراسة استهلاك الطاقة الكهربائية.

فمن حيث تواتر البيانات (Data Frequency)، تختلف الدراسات في طبيعة البيانات الزمنية المستخدمة، حيث اعتمدت بعض الدراسات على بيانات شهرية، كما في دراسة شرماط طاهر وبوعيشاوي يوسف (2019)، وهو ما مكنها من تحليل السلوك الموسمي للاستهلاك ونمذجته باستخدام نماذج SARMA. في المقابل، اعتمدت دراسات أخرى على بيانات سنوية، كما في دراسة مليوي عبد الغني وآخرون (2022)، وهو ما حدّ من قدرتها على التقاط التقلبات قصيرة المدى، رغم أنه يسمح بتحليل الاتجاه العام طويل الأجل.

أما من حيث التعقيد القياسي للنماذج، فقد تباينت الدراسات بين الاعتماد على النماذج الخطية التقليدية، مثل ARIMA والتمهيد الأسي، وبين التوجه نحو استخدام النماذج غير الخطية، خاصة الشبكات العصبية الاصطناعية، كما في دراسات Zhang G. P. وآخرون (1998) وHippert H. S. وآخرون (2001)، والتي أثبتت تفوقها في تحسين دقة التنبؤ، خاصة في ظل وجود علاقات معقدة وغير خطية بين المتغيرات.

وعلى مستوى المتغيرات المستخدمة، يظهر اختلاف جوهري بين الدراسات الأحادية والدراسات متعددة المتغيرات، حيث اعتمدت أغلب الدراسات المحلية على نماذج أحادية، في حين توجهت بعض الدراسات الحديثة إلى إدماج متغيرات اقتصادية كلية، كما في دراسة بن رمضان وسطاح (2024)، التي استخدمت نموذج الانحدار الذاتي المتجه (VAR) لتحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة المتجددة والناتج المحلي الإجمالي ومعدل البطالة، مما ساهم في تعزيز القدرة التفسيرية للنموذج.

كما يبرز الاختلاف في طبيعة المخرجات التنبؤية، حيث ركزت الدراسات المحلية على التنبؤ النقطي (Point Forecasting)، الذي يقدم قيمة محددة للاستهلاك المستقبلي، في حين اتجهت الدراسات الأجنبية الحديثة، مثل دراسة Hong Tao وFan Shu (2016)، إلى استخدام التنبؤ الاحتمالي (Probabilistic Forecasting)، الذي يسمح بتقدير نطاقات الثقة وأخذ عدم اليقين بعين الاعتبار، مما يساهم في تحسين جودة اتخاذ القرار في قطاع الطاقة.

ومن جهة أخرى، تختلف الدراسات في مستوى التحليل، حيث ركزت بعض الدراسات على الجانب التقني البحت، خاصة تلك المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، في حين اهتمت دراسات أخرى بالجانب الاقتصادي من خلال تحليل العلاقة بين الطاقة والنمو الاقتصادي، وهو ما يعكس تنوع الأهداف البحثية واختلاف زوايا المعالجة.

ثالثا: مقارنة بين الدراسات المحلية والأجنبية

جدول 2:مقارنة بين الدراسات المحلية والأجنبية في مجال استهلاك الطاقة الكهربائية

الجانب	الدراسات المحلية	الدراسات الأجنبية
الإطار العام الدراسة	تركز على استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر وتحليل تطوره	تركز على استهلاك الطاقة في دول مختلفة ضمن سياق الاقتصاد العالمي
الهدف من الدراسة	التنبؤ بالاستهلاك ودعم التخطيط الطاقوي	تحسين دقة التنبؤ وتطوير النماذج القياسية
المنهجية المستخدمة	نماذج تقليدية مثل ARIMAو-Box Jenkinsوأحيانا VAR	نماذج متقدمة: ANN ,Machine Learning نماذج احتمالية
طبيعة البيانات	غالبا بيانات سنوية	بيانات متنوعة (شهية، يومية،ضخمة)
نوع النماذج	نماذجأحادية(Université) في الغالب	نماذج متعددة (Multivariate) ونماذج ذكية
المتغيرات المستخدمة	التركيز على استهلاك الكهرباء فقط	إدماجمتغيراتاقتصادية (GDP، الطقس، السكن ....)
طبيعة السلسلة الزمنية	اتجاه متزايد مع عدم استقرارية	نفس الخاصية لكن مع تحليل أعمق للتقلبات
نوع التنبؤ	تنبؤ نقطي (قيمة واحدة)	تنبؤ احتمالي (مجالات +عدم يقين)
دقة النماذج	دقة مقبولة	دقة أعلى خاصة باستخدام الذكاء الاصطناعي
تفسير النتائج	محدودا (تركيز على التنبؤ فقط)	تحليل اقتصادي+تفسير ديناميكي
نقاط القوة	بساطة النماذج وسهولة التطبيق	دقة عالية ومرونة في التحليل
نقاط الضعف	غياب المتغيرات الاقتصادية وضعف النماذج	تعقيد النماذج وصعوبة التطبيق
التوجيه العام	الاعتماد على الأساليب التقليدية	التوجه نحو النماذج الحديثة والمتطورة

يوضح الجدول أعلاه وجود تقارب بين الدراسات من حيث الإطار العام، مقابل اختلاف واضح في المنهجيات المستخدمة ومستوى تعقيد النماذج، حيث تتجه الدراسات الأجنبية نحو استخدام تقنيات حديثة أكثر دقة، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى الاستفادة منه.

خاتمة

من خلال هذا الفصل، تم استعراض مجموعة من الدراسات السابقة المحلية والأجنبية التي تناولت موضوع التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية، حيث أظهرت هذه الدراسات الاهتمام المتزايد بتطوير أساليب التنبؤ وتحسين دقتها، بالنظر إلى الأهمية الاستراتيجية التي يكتسيها قطاع الطاقة الكهربائية في دعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية.

وقد تبيّن من خلال هذه الدراسات وجود تنوع واضح في المناهج والأساليب المعتمدة، إذ اعتمدت بعض الدراسات على النماذج القياسية التقليدية للسلاسل الزمنية، مثل نماذج ARIMA ومنهجية Box-Jenkins، بينما اتجهت دراسات أخرى إلى استخدام الأساليب الحديثة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي والشبكات العصبية والنماذج الهجينة، بهدف تحسين دقة التنبؤ والتعامل مع الطبيعة المعقدة والمتغيرة لبيانات استهلاك الطاقة.

كما أظهرت الدراسات المحلية اهتمامًا بتحليل واقع استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر والعوامل المؤثرة فيه، مع التركيز على استخدام النماذج القياسية التقليدية، في حين ركزت الدراسات الأجنبية على تطوير نماذج أكثر تقدمًا ومرونة قادرة على تفسير العلاقات غير الخطية والتعامل مع حالات عدم اليقين.

وقد سمحت المقارنة بين مختلف الدراسات بإبراز أوجه التشابه والاختلاف من حيث الأهداف والمنهجيات والمتغيرات المعتمدة والنتائج المتوصل إليها، الأمر الذي ساعد على تحديد موقع الدراسة الحالية وإبراز أهميتها العلمية، خاصة فيما يتعلق باختيار النموذج القياسي الملائم للتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر.

وبناءً على ما سبق، سيتم في الفصل الموالي الانتقال إلى الجانب التطبيقي للدراسة، من خلال عرض البيانات المستخدمة والمنهجية القياسية المعتمدة، ثم تقدير النموذج المختار وتحليل النتائج المتوصل إليها بهدف الوصول إلى تنبؤات مستقبلية تساعد في دعم التخطيط واتخاذ القرار في قطاع الطاقة الكهربائية.

الفصل الثالث: الدراسة القياسية والتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية

الفصل الثالث: الدراسة القياسية والتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية

المبحث الأول: تقديم البيانات والتحليل الوصفي لسلسلة استهلاك الطاقة

المطلب الأول: تعريف البيانات ومصادرها

أولاً: التعريف النظري

يُعرف استهلاك الطاقة الكهربائية للفرد بأنه كمية الطاقة الكهربائية المستخدمة من قبل الأفراد ومختلف القطاعات الاقتصادية، كالصناعة والخدمات والاستهلاك المنزلي، خلال فترة زمنية معينة. ويُعد هذا المتغير من أهم المؤشرات الاقتصادية التي تعكس مستوى النشاط الاقتصادي والتطور الصناعي والتكنولوجي، إضافة إلى كونه مؤشرًا على مستوى الرفاهية الاجتماعية في الدولة.

ثانياً: التعريف القياسي

يتمثل المتغير محل الدراسة في استهلاك الطاقة الكهربائية للفرد (Electric Power Consumption per Capita)

وحدة القياس

يُقاس بالكيلوواط ساعي للفرد.(KWh per capita)

طبيعة البيانات

تمثل البيانات سلسلة زمنية سنوية تعبر عن كمية الكهرباء المستهلكة بالنسبة لكل فرد، ويتم احتسابها اعتمادًا على إجمالي إنتاج الكهرباء ومشتريات الاستيراد مطروحًا منها الفاقد أثناء النقل والتوزيع، مقسومًا على عدد السكان.

الفترة الزمنية

تشمل الدراسة الفترة الممتدة من سنة 1990 إلى سنة 2023، بإجمالي 33 مشاهدة سنوية

مصدر البيانات

تم الاعتماد على قواعد بيانات دولية موثوقة، والمتمثلة في

قاعدة بياناتWorld Bank

قاعدة بياناتInternational Energy Agency

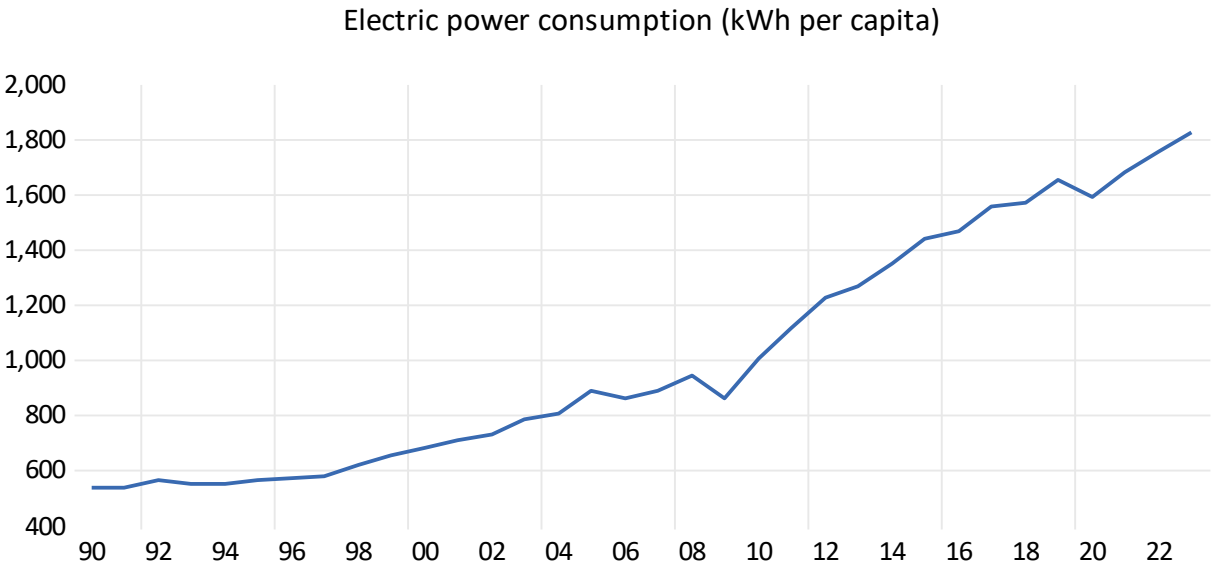
ثالثاً: التوصيف الإحصائي للمتغير

أظهرت المعطيات الإحصائية والتحليل القياسي للسلسلة الزمنية مجموعة من الخصائص الأساسية، يمكن تلخيصها فيما يلي:

متغير ذو اتجاه تصاعدي

أظهرت البيانات وجود ارتفاع مستمر وملحوظ في استهلاك الطاقة الكهربائية للفرد، حيث بلغت نسبة الزيادة حوالي 338% خلال الفترة الممتدة بين 1990 و2023، وهو ما يعكس التوسع المتزايد في الطلب على الكهرباء نتيجة النمو السكاني والتطور الاقتصادي والتكنولوجي.

الشكل1 :التطور الزمني لاستهلاك الطاقة الكهربائية للفرد في الجزائر خلال الفترة (1990–2023)



المصدر. من اعداد الباحث

يوضح الشكل السابق وجود اتجاه عام تصاعدي في استهلاك الطاقة الكهربائية للفرد خلال فترة الدراسة، حيث شهدت السلسلة الزمنية ارتفاعًا تدريجيًا ومستمرًا مع بعض التذبذبات الطفيفة. كما يُلاحظ أن السلسلة لا تتحرك حول متوسط ثابت، وهو ما يعطي مؤشرًا أوليًا على عدم استقراريتها.

متغير غير مستقر (Non-stationary)

أن السلسلة الزمنية غير مستقرة في مستواها(ADF) أثبتت اختبارات الاستقرارية، خاصة اختبار ديكي–فولر الموسع.

المطلب الثاني: اختبار استقرارية السلسلة الزمنية

1. اختبار السلسلة في المستوى (Level)

من أجل التحقق من استقرارية السلسلة الزمنية، تم استخدام اختبار ديكي–فولر الموسع (ADF) عند المستوى مع إدراج كل من الثابت والاتجاه العام، وكانت النتائج كما يلي:

الشكل2 :نتائج اختبارADF

Null Hypothesis: Y has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=8)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-1.816740	0.6737
Test critical values:	1% level	-4.262735	
	5% level	-3.552973	
	10% level	-3.209642	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(Y)
Method: Least Squares
Date: 05/02/26 Time: 15:17
Sample (adjusted): 1991 2023
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Y(-1)	-0.134841	0.074222	-1.816740	0.0793
C	46.09021	27.09036	1.701351	0.0992
@TREND("1990")	7.428630	3.131211	2.372446	0.0243

المصدر. من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

تحليل نتائج اختبار الاستقرارية للسلسلة الأصلية

من خلال النتائج الموضحة في الشكل 2، نلاحظ ما يلي:

- بلغت قيمة إحصائية اختبار ديكي–فولر الموسع: ADF=-1.816740
- كما بلغت القيمة الاحتمالية: Prob=0.6737
- وهي قيمة أكبر من مستوى المعنوية:0.05
- كما أن القيمة المطلقة لإحصائية الاختبار أصغر من القيم الحرجة عند مستويات المعنوية 1، 5، و10.

وبناءً على ذلك، لا يمكن رفض الفرضية الصفرية H0 التي تنص على وجود جذر الوحدة، وبالتالي فإن السلسلة الأصلية Y غير مستقرة إحصائيًا.

الاستنتاج

تشير النتائج السابقة إلى أن سلسلة استهلاك الطاقة الكهربائية في مستواها الأصلي تعاني من مشكلة عدم الاستقرارية، وهو ما يعني أن متوسط السلسلة وتباينها يتغيران مع الزمن نتيجة وجود اتجاه عام تصاعدي.

لذلك، يصبح من الضروري إزالة الاتجاه العام وأخذ الفروق المناسبة من أجل تحويل السلسلة إلى سلسلة مستقرة يمكن استخدامها في تقدير النموذج القياسي والتنبؤ المستقبلي.

إزالة الاتجاه العام من السلسلة الزمنية

بعد التأكد من أن السلسلة الأصلية Y غير مستقرة، تبين من خلال التمثيل البياني للسلسلة وجود اتجاه عام تصاعدي واضح مع الزمن، وهو ما يدل على وجود اتجاه خطي يؤثر على استقرار السلسلة الزمنية.

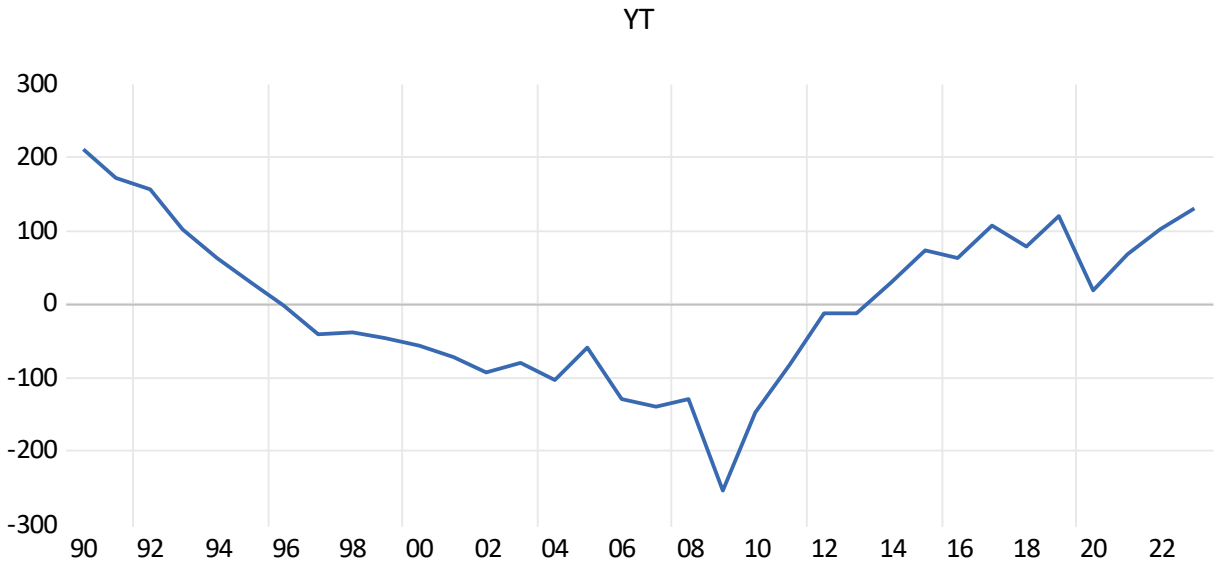
ولمعالجة هذه المشكلة، تم اللجوء إلى إزالة الاتجاه العام (Detrending)، وذلك من خلال تقدير معادلة الاتجاه الخطي باستعمال نموذج الانحدار الخطي البسيط بين المتغير والزمن، حيث تم الحصول على المعادلة التالية:

genryt=y-(329.073513972 +41.4814432498*@TREND)

ومن خلال هذه المعادلة، تم استخراج سلسلة جديدة بعد حذف أثر الاتجاه العام، أطلق عليها الرمز: YT

وتمثل هذه السلسلة القيم الصافية بعد إزالة التأثير الزمني، بهدف دراسة سلوكها الحقيقي واختبار مدى استقرارها.

الشكل3 :السلسلة الزمنية بعد إزالة الاتجاه العام(YT)



المصدر. من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

تحليل الشكل البياني للسلسلة YT

من خلال الشكل السابق، نلاحظ أن السلسلة أصبحت تتحرك حول متوسط شبه ثابت مقارنة بالسلسلة الأصلية، كما تراجعت حدة الاتجاه التصاعدي الذي كان ظاهرًا في السلسلة Y.

ورغم إزالة الاتجاه العام، إلا أن السلسلة لا تزال تُظهر بعض التقلبات وعدم الاستقرار، مما يستدعي إجراء اختبار الاستقرارية مرة أخرى باستخدام اختبار ديكي–فولر الموسع للتأكد من مدى تحقق شرط الاستقرارية بعد إزالة الاتجاه العام.

اختبار استقرارية السلسلة بعد إزالة الاتجاه العام

بعد إزالة الاتجاه العام من السلسلة الزمنية والحصول على السلسلة الجديدة، تم إجراء اختبار Augmented Dickey–Fuller test من جديد، بهدف التحقق مما إذا كانت السلسلة أصبحت مستقرة بعد التخلص من أثر الاتجاه الزمني.

الشكل4 :نتائج اختبار ADF للسلسلة

Null Hypothesis: YT has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=8)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-1.816740	0.6737
Test critical values:	1% level	-4.262735	
	5% level	-3.552973	
	10% level	-3.209642	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(YT)
Method: Least Squares
Date: 05/02/26 Time: 15:38
Sample (adjusted): 1991 2023
Included observations: 33 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
YT(-1)	-0.134841	0.074222	-1.816740	0.0793
C	-34.17054	15.84146	-2.157032	0.0391
@TREND("1990")	1.835216	0.814191	2.254036	0.0317

المصدر. من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

تحليل نتائج اختبار الاستقرارية للسلسلة YT

من خلال النتائج الموضحة في الشكل (4)، نلاحظ أن قيمة إحصائية اختبار ديكي–فولر الموسع بلغت: ADF=-1.816740

كما بلغت القيمة الاحتمالية: Prob=0.6737

وهي قيمة أكبر من مستوى المعنوية:0.05

كما أن القيمة المطلقة لإحصائية الاختبار تبقى أصغر من القيم الحرجة عند مختلف مستويات المعنوية 1، 5، و10.

وبناءً على هذه النتائج، لا يمكن رفض الفرضية الصفرية H0 التي تنص على وجود جذر الوحدة، وبالتالي فإن السلسلة YT لا تزال غير مستقرة حتى بعد إزالة الاتجاه العام.

الاستنتاج

تشير هذه النتائج إلى أن إزالة الاتجاه العام لم تكن كافية لتحقيق استقرار السلسلة الزمنية، لذلك تم اللجوء إلى أخذ الفرق الأول للسلسلة من أجل القضاء نهائيًا على مشكلة عدم الاستقرارية وتحويل السلسلة إلى سلسلة مستقرة صالحة للتقدير القياسي.

وبالتالي تم إنشاء سلسلة جديدة تمثل الفرق الأول للسلسلة YT، وأطلق عليها الرمز:DYT

والتي سيتم اختبار استقرارها في المرحلة الموالية.

اختبار استقرارية السلسلة بعد الفرق الأول DYT

نظرًا لاستمرار مشكلة عدم الاستقرارية في السلسلة YT، تم أخذ الفرق الأول للحصول على سلسلة جديدة يرمز لها بـ:DYT

وذلك بهدف إزالة التقلبات والاتجاهات المتبقية وتحقيق شرط الاستقرار اللازم لتقدير نموذج السلاسل الزمنية.

وللتحقق من استقرارية هذه السلسلة، تم تطبيق اختبار Augmented Dickey–Fuller test مرة أخرى، وكانت النتائج كما يلي:

الشكل5 :نتائج اختبار ADF للسلسلة DYT

Null Hypothesis: DYT has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=8)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-7.079774	0.0000
Test critical values:	1% level	-4.273277	
	5% level	-3.557759	
	10% level	-3.212361	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(DYT)
Method: Least Squares
Date: 05/02/26 Time: 15:41
Sample (adjusted): 1992 2023
Included observations: 32 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DYT(-1)	-1.266590	0.178903	-7.079774	0.0000
C	-44.31511	18.60654	-2.381696	0.0240
@TREND("1990")	2.407585	0.943489	2.551790	0.0162

مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

تحليل نتائج اختبار الاستقرارية للسلسلة DYT

من خلال نتائج اختبار ديكي–فولر الموسع (ADF) الموضحة في الشكل أعلاه، نلاحظ أن قيمة إحصائية الاختبار بلغت 7.079774- باحتمال 0.0000، وهي أقل من مستويات المعنوية المعتمدة 10,5,1 مما يسمح برفض فرضية العدم القائلة بوجود جذر وحدة في السلسلة. وعليه فإن السلسلة DYT تبدو مستقرة من حيث اختبار الجذر الأحادي بعد إجراء الفرق الأول.

إلا أن نتائج معادلة الاختبار أظهرت أن معامل الاتجاه العام TREND معنوي إحصائيًا، حيث بلغ احتمال المعنويّة الخاص به 0.0162 وهو أقل من 5، ما يدل على استمرار وجود اتجاه خطي داخل السلسلة رغم تحقق الاستقرارية بعد الفرق الأول.

وبالتالي فإن السلسلة لا تزال تحتوي على أثر للاتجاه العام، الأمر الذي استدعى إزالة هذا الاتجاه الخطي للحصول على سلسلة أكثر استقرارًا وتجانسًا، والتي يرمز لها بـ DYTT. وبعد حذف الاتجاه

العام أصبحت السلسلة جاهزة للانتقال إلى مرحلة تحديد النموذج الملائم وفق منهجية Box– Jenkins بالاعتماد على دالتي الارتباط الذاتي ACF والارتباط الذاتي الجزئي PACF.

إزالة الاتجاه العام من السلسلة DYT

بعد إجراء الفرق الأول للسلسلة الزمنية وتحقيق شرط الاستقرارية وفق نتائج اختبار ديكي–فولر الموسع (ADF)، تبين من خلال معادلة الاختبار أن معامل الاتجاه العام (Trend) لا يزال معنويًا إحصائيًا، مما يدل على بقاء أثر اتجاه خطي داخل السلسلة. لذلك تم اتخاذ خطوة إزالة الاتجاه العام من السلسلة بهدف الحصول على سلسلة أكثر تجانسًا واستقرارًا، حيث أصبحت السلسلة الجديدة تسمى DYTT، وهي السلسلة التي سيتم الاعتماد عليها في المراحل اللاحقة من التحليل القياسي.

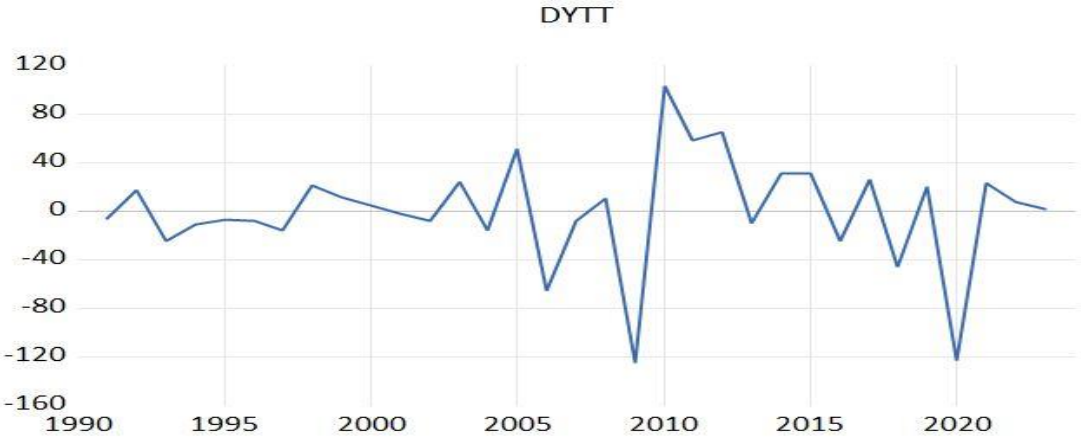
وذلك وفق معادلة الاتجاه التالية:

DYTT=DYT-(-35.3324520108+1.93480821468*TREND)

وتمثل السلسلة DYTT السلسلة النهائية المستقرة التي سيتم اعتمادها في تحديد النموذج التنبؤي المناسب باستخدام دوال الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي.

بعد أخذ الفرق الأول للسلسلة وتحويلها إلى DYTT، نلاحظ ما يلي:

الشكل6 : تطور السلسلة الزمنية بعد أخذ الفرق الأول (DYTT).



مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

نلاحظ أن السلسلة أصبحت تتمحور حول متوسط ثابت تقريباً، مع اختفاء الاتجاه العام الذي كان ظاهراً في السلسلة الأصلية (YT).

مما يعكس تحسنًا ملحوظًا في خاصية الاستقرارية واقتراب السلسلة من السلوك العشوائي حول متوسط ثابت.

نتائج اختبار ديكي–فولر الموسع (ADF) للسلسلةDYTT

بعد إزالة الاتجاه العام من السلسلة الزمنية والحصول على السلسلة المعدلة DYTT، يتم في هذه المرحلة اختبار مدى استقراريتها عند المستوى باستخدام اختبار ديكي–فولر الموسع (ADF)، وذلك للتأكد من مدى صلاحيتها للاستخدام في النمذجة القياسية.

الشكل: 7نتائج اختبار ADF للسلسلةDYTT

Null Hypothesis: DYTT has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=8)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-7.079774	0.0000
Test critical values:	1% level	-4.273277	
	5% level	-3.557759	
	10% level	-3.212361	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(DYTT)
Method: Least Squares
Date: 06/13/26 Time: 14:41
Sample (adjusted): 1992 2023
Included observations: 32 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DYTT(-1)	-1.266590	0.178903	-7.079774	0.0000
C	0.952425	17.37800	0.054806	0.9567
@TREND("1990")	-0.043024	0.878283	-0.048987	0.9613

مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

توضح نتائج اختبار ديكي–فولر الموسع أن قيمة إحصائية الاختبار بلغت 7.200433-، وهي أقل من القيم الحرجة عند مستويات المعنوية 1% و5% و10%. كما بلغت قيمة الاحتمال Prob=0.0000، وهي أقل من 5%، مما يسمح برفض فرضية العدم القائلة بوجود جذر وحدة.

وبالتالي يمكن القول إن السلسلة DYTT أصبحت مستقرة عند المستوى بعد إزالة الاتجاه العام، مما يجعلها صالحة للانتقال إلى مرحلة تحديد النموذج القياسي المناسب اعتمادًا على دالتي الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF).

المبحث الثالث: تقدير النموذج واختبارات الجودة

المطلب الأول: تقديم نموذج ARMA ومنهجية بوكس–جنكينز

بعد التأكد من استقرارية السلسلة الزمنية عند الفرق الأول، يصبح بالإمكان الانتقال إلى مرحلة بناء النموذج القياسي المناسب لتحليل السلسلة والتنبؤ بقيمها المستقبلية. ولتحقيق ذلك، تم الاعتماد على منهجية بوكس–جنكينز (Box–Jenkins)، والتي تُعد من أهم المناهج الإحصائية المستخدمة في تحليل السلاسل الزمنية والتنبؤ بها، نظراً لقدرتها على تفسير السلوك الديناميكي للمتغيرات عبر الزمن.

وتعتمد هذه المنهجية على مجموعة من الخطوات الأساسية تتمثل في:

- تحديد النموذج المناسب.
- تقدير معلمات النموذج.
- اختبار جودة النموذج.
- استعمال النموذج في التنبؤ بالقيم المستقبلية.

كما تعتمد منهجية بوكس–جنكينز على نماذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة، المعروفة بنماذج ARMA، والتي تسمح بدراسة العلاقة بين القيم الحالية للسلسلة الزمنية وقيمها السابقة، إضافة إلى تأثير الصدمات العشوائية الماضية على القيم الحالية.

ويأخذ نموذج ARMA الشكل العام التالي: حيث:

$$Y_t = c + \emptyset_1 Y_{t-1} + \cdots + \emptyset_p Y_{t-p} + u_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Y_t: تمثل قيمة المتغير عند الزمن t.

c: الحد الثابت في النموذج.

$\emptyset$: معاملات الانحدار الذاتي (AR).

θ: معاملات المتوسطات المتحركة (MA).

u_t: الحد العشوائي.

P: رتبة الانحدار الذاتي.

q: رتبة المتوسطات المتحركة

الشكل8 :مراحل منهجية بوكس–جنكينز في تحليل السلاسل الزمنية

المصدر: من اعداد الباحث

يوضح الشكل السابق المراحل الأساسية التي تقوم عليها منهجية بوكس–جنكينز، حيث تبدأ بتحليل خصائص السلسلة الزمنية واختبار استقراريتها، ثم تحديد النموذج الملائم اعتمادًا على دوال الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي، قبل الانتقال إلى تقدير النموذج واختبار مدى صلاحيته للتنبؤ بالقيم المستقبلية

ويقوم الجزء الخاص بالانحدار الذاتي (AR) على تفسير القيم الحالية للسلسلة اعتماداً على قيمها السابقة، في حين يعتمد جزء المتوسطات المتحركة (MA) على تأثير الأخطاء أو الصدمات العشوائية السابقة في تفسير القيم الحالية للسلسلة الزمنية.

وبعد دراسة خصائص السلسلة الزمنية وتحليل دوال الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF)، تم التوصل إلى أن النموذج الأنسب لتمثيل السلسلة الزمنية لاستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر هو نموذج ARMA (2.2)

ويعكس هذا النموذج وجود تأثير لكل من القيم السابقة للسلسلة والصدمات العشوائية السابقة على استهلاك الطاقة الكهربائية، وهو ما يبرز الطبيعة الديناميكية لهذا المتغير وارتباطه بالتغيرات الاقتصادية والتكنولوجية التي يشهدها الاقتصاد الجزائري.

وبناءً على ذلك، سيتم في المطلب الموالي تحديد وتقدير النموذج المختار وتحليل نتائجه القياسية، من أجل تقييم مدى ملاءمته للتنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية مستقبلاً

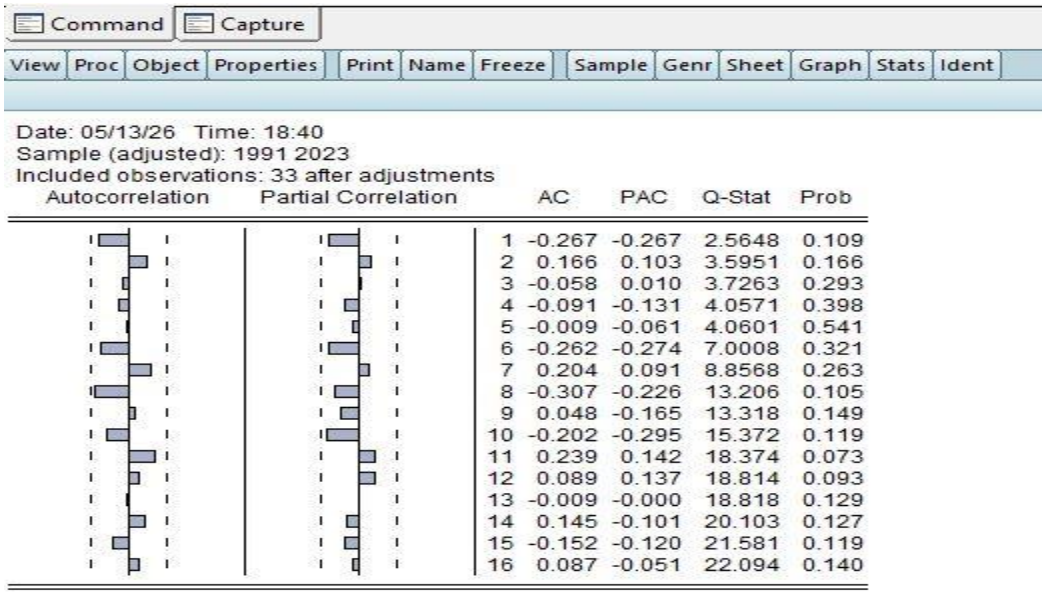
المطلب الثاني: تحديد النموذج المناسب وتقديره

بعد التأكد من استقرارية السلسلة الزمنية عند الفرق الأول، تأتي مرحلة تحديد النموذج القياسي الأنسب لتمثيل السلسلة الزمنية لاستهلاك الطاقة الكهربائية. وتعتمد هذه المرحلة على دراسة دوال الارتباط الذاتي (ACF) ودوال الارتباط الذاتي الجزئي (PACF)، وذلك بهدف تحديد رتبتي الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة المناسبة للنموذج.

وتُعد هذه الخطوة من أهم مراحل منهجية بوكس–جنكينز، حيث تسمح بالكشف عن البنية الداخلية للسلسلة الزمنية وتحديد النموذج الأكثر ملاءمة من الناحية الإحصائية والقياسية.

ولتحقيق ذلك، تم الاعتماد على الـ Correlogram الخاص بالسلسلة بعد الفرق الأول، وكانت النتائج كمايلي:

الشكل9 : السلسلة بعد الفرق الأولCorrelogram



	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	-0.267	-0.267	2.5648	0.109
2	0.166	0.103	3.5951	0.166
3	-0.058	0.010	3.7263	0.293
4	-0.091	-0.131	4.0571	0.398
5	-0.009	-0.061	4.0601	0.541
6	-0.262	-0.274	7.0008	0.321
7	0.204	0.091	8.8568	0.263
8	-0.307	-0.226	13.206	0.105
9	0.048	-0.165	13.318	0.149
10	-0.202	-0.295	15.372	0.119
11	0.239	0.142	18.374	0.073
12	0.089	0.137	18.814	0.093
13	-0.009	-0.000	18.818	0.129
14	0.145	-0.101	20.103	0.127
15	-0.152	-0.120	21.581	0.119
16	0.087	-0.051	22.094	0.140

المصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

يوضح الـ Correlogram سلوك معاملات الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF) للسلسلة الزمنية بعد أخذ الفرق الأول، حيث يُستخدم كأداة أساسية في منهجية بوكس–جينكنز للتعرف على طبيعة السلسلة وتحديد النموذج الملائم للتنبؤ.

ومن خلال النتائج المتحصل عليها نلاحظ أن أغلب معاملات الارتباط الذاتي والارتباط الذاتي الجزئي تقع داخل حدود الثقة، وهو ما يدل على تراجع الارتباط بين القيم الحالية والقيم السابقة للسلسلة الزمنية بعد عملية الفرق الأول.

كما نلاحظ أن قيم احتمالات إحصائية (Ljung-Box (Prob جميعها أكبر من مستوى المعنوية 5%، مما يعني عدم وجود ارتباط ذاتي معنوي بين البواقي، وبالتالي فإن السلسلة أصبحت مستقرة وتأخذ سلوكًا قريبًا من السلاسل العشوائية المستقرة (White Noise).

كذلك يظهر من خلال الشكل أن معاملات الارتباط الذاتي لا تتناقص ببطء كما كان الحال قبل إجراء الفرق، وإنما تتذبذب حول الصفر داخل حدود الثقة، وهو مؤشر إضافي على نجاح عملية الفرق الأول في إزالة أثر الاتجاه العام وتحقيق الاستقرارية.

وبناءً على ذلك يمكن الانتقال إلى مرحلة تحديد نموذج ARMA الأنسب، من خلال تحليل شكل الانقطاع أو التناقص في كل من ACFوPACF لتحديد رتب الانحدار الذاتي ARوالمتوسطات المتحركة.MA

مقارنة النماذج المقترحة واختيار النموذج الأنسب

بعد تحليل الـ Correlogram وتحديد الرتب المحتملة للنموذج، تم تقدير مجموعة من النماذج المختلفة للمفاضلة بينها واختيار النموذج الأكثر ملاءمة للسلسلة الزمنية محل الدراسة.

وقد شملت النماذج المقدرة كلًا من:**ARMA (2,1) ARMA(1,1) ARMA (2,2)**

وذلك اعتمادًا على معايير المعلومات الإحصائية، خاصة:

- ✓ معيار أكايك (AIC)
- ✓ معيار شوارتز (SC)
- ✓ معيار هانن–كوين (HQ)

إضافة إلى معنوية المعلمات المقدرة واستقرار النموذجوقد أظهرت نتائج التقدير أن نموذجي:

الشكل10 :تقدير نموذج(1,1) ARMA

View | Proc | Object | Print | Name | Freeze | Estimate | Forecast | Stats | Resids

Dependent Variable: DYTT
Method: ARMA Conditional Least Squares (Gauss-Newton / Marquardt steps)
Date: 05/13/26 Time: 23:08
Sample (adjusted): 1992 2023
Included observations: 32 after adjustments
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 25 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
MA Backcast: 1991

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.178163	6.721310	0.026507	0.9790
AR(1)	-0.517005	0.540719	-0.956145	0.3469
MA(1)	0.268939	0.609071	0.441556	0.6621

R-squared	0.079660	Mean dependent var	0.210897
Adjusted R-squared	0.016188	S.D. dependent var	46.03734
S.E. of regression	45.66319	Akaike info criterion	10.56952
Sum squared resid	60468.68	Schwarz criterion	10.70693
Log likelihood	-166.1124	Hannan-Quinn criter.	10.61507
F-statistic	1.255042	Durbin-Watson stat	1.980183
Prob(F-statistic)	0.300090		

Inverted AR Roots	-.52
Inverted MA Roots	-.27

مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

تفسير نتائج نموذج ARMA (1,1)

أظهرت نتائج تقدير نموذج ARMA (1,1) أن معاملات النموذج غير معنوية إحصائياً، حيث بلغت قيمة الاحتمال الخاصة بمعامل AR (1) حوالي 0.3469، بينما بلغت قيمة الاحتمال الخاصة بمعامل MA (1) حوالي 0.6621، وهي قيم تفوق مستوى الدلالة الإحصائية المعتمد (5%).

ويعني ذلك عدم رفض فرضية العدم التي تنص على عدم معنوية هذه المعلمات، وبالتالي فإن هذه المعاملات لا تساهم بشكل فعّال في تفسير سلوك السلسلة الزمنية المدروسة. كما يشير ذلك إلى أن العلاقة الديناميكية المفترضة في هذا النموذج بين القيم الحالية والقيم السابقة لا تعكس بشكل كافٍ بنية البيانات الفعلية.

وبناءً على ذلك، فإن نموذج ARMA (1,1) لا يوفر تمثيلاً إحصائياً مناسباً للسلسلة، مما يستدعي استبعاده من التحليل.

الشكل11 :تقدير نموذج(2,1) ARMA

View | Proc | Object | Print | Name | Freeze | Estimate | Forecast | Stats | Resids

Dependent Variable: DYTT
Method: ARMA Conditional Least Squares (Gauss-Newton / Marquardt steps)
Date: 05/13/26 Time: 23:10
Sample (adjusted): 1993 2023
Included observations: 31 after adjustments
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 21 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
MA Backcast: 1992

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.242953	7.379822	-0.032921	0.9740
AR(1)	-0.339017	1.528775	-0.221757	0.8262
AR(2)	0.072819	0.460842	0.158012	0.8756
MA(1)	0.102402	1.535447	0.066692	0.9473

R-squared	0.080840	Mean dependent var	-0.337935
Adjusted R-squared	-0.021289	S.D. dependent var	46.69180
S.E. of regression	47.18618	Akaike info criterion	10.66599
Sum squared resid	60116.47	Schwarz criterion	10.85102
Log likelihood	-161.3229	Hannan-Quinn criter.	10.72631
F-statistic	0.791551	Durbin-Watson stat	1.991230
Prob(F-statistic)	0.509236		

Inverted AR Roots	.15	-.49
Inverted MA Roots	-.10	

مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

2. تفسير نتائج نموذج ARMA (2,1)

كذلك أظهرت نتائج تقدير نموذج ARMA (2,1) أن جميع المعاملات المقدّرة غير معنوية إحصائياً، حيث سجل معامل AR (1) قيمة احتمال قدرها 0.9740، وسجل معامل AR (2) قيمة 0.8262، بينما بلغ معامل MA (1) قيمة 0.9473، وهي كلها قيم تفوق بكثير مستوى الدلالة 5%.

ويعني ذلك أن جميع الفرضيات العدمية المتعلقة بعدم معنوية هذه المعاملات لا يمكن رفضها، مما يدل على أن هذه المتغيرات لا تملك قدرة تفسيرية ذات دلالة إحصائية داخل النموذج. كما يشير ذلك إلى أن إضافة درجة انحدار ثانية لم تؤدِّ إلى تحسين الأداء الإحصائي للنموذج، بل بقيت القدرة التفسيرية ضعيفة وغير كافية لتمثيل السلسلة الزمنية.

وعليه، فإن نموذج ARMA (2,1) يُعد غير مناسب لتمثيل البيانات المدروسة، ويتم استبعاده لصالح نموذج أكثر ملاءمة من حيث المعنوية الإحصائية وجودة المطابقة.

استنتاج النموذج المناسب

من خلال تحليل الـ Correlogram الخاص بالسلسلة الزمنية بعد تحقيق الاستقرارية، والمتمثل في دالتي الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF)، يتضح وجود تناقص تدريجي في معاملات الارتباط مع تزايد فترات الإبطاء، مع ظهور قمم معنوية خلال الفجوات الأولى، وهو ما يدل على أن السلسلة الزمنية تتبع نموذجًا مختلطًا يجمع بين الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة.

كما تم الاعتماد على معايير المعلومات الإحصائية، خاصة:

- **معيار أكايك (AIC)**
- **معيار شوارتز (SC)**
- **معيار هانن–كوين (HQ)**

وذلك من أجل المفاضلة بين النماذج الممكنة واختيار النموذج الأكثر ملاءمة لتمثيل السلسلة الزمنية.

وبعد مقارنة مختلف النماذج المقدرة، تبيّن أن نموذج:

هو النموذج الأنسب لتمثيل ديناميكية استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر، نظرًا لتحقيقه أفضل القيم الإحصائية مقارنة بالنماذج الأخرى، إضافة إلى توافقه مع سلوك دالتي ACF وPACF.

ويعكس هذا النموذج وجود تأثير معنوي لكل من القيم السابقة للسلسلة الزمنية والصدمات العشوائية الماضية على القيم الحالية لاستهلاك الطاقة الكهربائية، وهو ما يتماشى مع الطبيعة الديناميكية لهذا المتغير الاقتصادي.

وبناءً على ذلك، سيتم في المطلب الموالي تقدير نموذج ARMA (2,2) وتحليل نتائجه القياسية واختبار مدى ملاءمته للتنبؤ بالقيم المستقبلية.

المطلب الثاني: تقدير نموذج ARMA (2,2) وتحليل نتائجه

بعد تحديد النموذج الأنسب لتمثيل السلسلة الزمنية، والمتمثل في نموذج:ARMA (2,2)

تم الانتقال إلى مرحلة تقدير معلمات النموذج باستخدام برنامج EViews، وذلك بهدف تحليل العلاقة الديناميكية بين القيم الحالية والسابقة للسلسلة الزمنية، إضافة إلى دراسة أثر الصدمات العشوائية الماضية على تطور استهلاك الطاقة الكهربائية.

وقد أسفرت عملية التقدير عن النتائج التالية:

الشكل12 :نتائج تقدير نموذج ARMA (2,2)

View | Proc | Object | Print | Name | Freeze | Estimate | Forecast | Stats | Resids

Dependent variable: DTT

Method: ARMA Conditional Least Squares (Gauss-Newton / Marquardt steps)

Date: 05/13/26 Time: 18:31

Sample (adjusted): 1993 2023

Included observations: 31 after adjustments

Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 36 iterations

Coefficient covariance computed using outer product of gradients

MA Backcast: 1991 1992

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.114041	6.983172	0.159532	0.8745
AR(1)	-1.815711	0.084271	-21.54603	0.0000
AR(2)	-0.954796	0.086145	-11.08364	0.0000
MA(1)	1.833751	0.099458	18.43749	0.0000
MA(2)	0.846496	0.088472	9.567998	0.0000

R-squared	0.355685	Mean dependent var	-0.337935
Adjusted R-squared	0.256559	S.D. dependent var	46.69180
S.E. of regression	40.25907	Akaike info criterion	10.37524
Sum squared resid	42140.61	Schwarz criterion	10.60653
Log likelihood	-155.8162	Hannan-Quinn criter.	10.45063
F-statistic	3.588230	Durbin-Watson stat	1.789503
Prob(F-statistic)	0.018549		

مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

تفسير نتائج تقدير نموذج ARMA (2,2)

بعد تحديد النموذج المناسب اعتمادًا على دوال الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF)، تم تقدير نموذج ARMA (2,2) باستخدام برنامج EViews، وكانت النتائج كما هو موضح في الشكل السابق.

يتضح من خلال نتائج التقدير أن معاملات النموذج الخاصة بكل من جزئي الانحدار الذاتي (AR) والمتوسطات المتحركة (MA) معنوية إحصائيًا، حيث جاءت القيم الاحتمالية المصاحبة لها أقل من مستوى المعنوية 5%، إذ بلغت: Prob = 0.0000 وهو ما يدل على وجود تأثير معنوي للقيم السابقة للسلسلة وكذلك للصدمات العشوائية السابقة في تفسير التغيرات الحالية لاستهلاك الطاقة الكهربائية.

كما نلاحظ أن:

قيمة معيار أكايك (AIC) بلغت: 10.37524

وقيمة معيار شوارتز (SC):10.60653

بينما بلغ معيار هانن–كوين (HQ) :10.45063

وتُعد هذه القيم منخفضة نسبيًا مقارنة بالنماذج الأخرى التي تم اختبارها، مما يؤكد أن نموذج ARMA (2,2) هو النموذج الأكثر ملاءمة لتمثيل السلسلة الزمنية محل الدراسة.

ومن جهة أخرى، بلغت قيمة إحصائية دوربن–واتسن: DW = 1.789503 وهي قيمة قريبة من 2، مما يشير مبدئيًا إلى عدم وجود مشكلة ارتباط ذاتي خطير في بواقي النموذج.

كما تُظهر النتائج أن النموذج يتمتع بدرجة مقبولة من القدرة التفسيرية، حيث بلغت قيمة: R^2 = 0.355685 وهو ما يعني أن النموذج يفسر جزءًا معتبرًا من التغيرات الحاصلة في استهلاك الطاقة الكهربائية، في حين يبقى الجزء الآخر راجعًا إلى عوامل اقتصادية وتقنية وديموغرافية أخرى غير مدرجة داخل النموذج.

وبناءً على النتائج السابقة، يمكن اعتبار نموذج ARMA (2,2) نموذجًا ملائمًا من الناحية القياسية والإحصائية لتحليل السلسلة الزمنية والتنبؤ بالقيم المستقبلية لاستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر.

مقارنة بين النماذج لاختيار النموذج الأنسب

من أجل اختيار النموذج القياسي الأنسب لعملية التنبؤ، تم إجراء مقارنة إحصائية بين النماذج المقدرة اعتمادًا على مجموعة من المعايير الإحصائية، وذلك بهدف تحديد النموذج الأكثر كفاءة ودقة في التفسير والتنبؤ.

جدول 3:مقارنة بين النماذج

معيار المفاضلة	نموذج ARMA (1,1)	نموذج ARMA (2,1)	نموذج ARMA (2,2)
معنوية المعلمات (prob)	غير معنوية (0.34 و0.66)	غير معنوية (0.82و0.87و0.94)	**معنوية جدا (0.0000)**
معيار Akaike(AIC)	10.569	10.665	**10.375 (الأقل)**
معيار Schwarz(SC)	10.706	10.851	**10.606 (الأقل)**
معامل التحديد (R^2)	0.079	0.080	**0.355 (الأعلى)**
إحصائية F(Prob)	غير معنوي (0.300)	غير معنوية (0.509)	**معنوي (0.018)**
اختبار Durbin-watson	1.980	1.991	**1.789**

مصدر: من اعداد الباحث

التعليق على الجدول:

بناءً على معيار المعنوية: نلاحظ أن نموذج ARMA (2,2) هو الوحيد الذي حقق معنوية إحصائية تامة لجميع معلماته عند مستوى 1%.

بناءً على معايير المعلومات: حقق نموذج ARMA (2,2) أدنى القيم لكل من معيار Akaikeو Schwar، ممايجعله الأفضل من حيث الكفاءة والقدرة التنبؤية.

القرار: يتم اختيار نموذج ARMA (2,2) كنموذج أمثل للدراسة، واستبعاد النماذج الأخرى نظراً لضعف خصائصها الإحصائية.

المطلب الثالث: اختبارات صلاحية وجودة النموذج المقدر

بعد الانتهاء من تقدير نموذج:

تأتي مرحلة الاختبارات التشخيصية (Diagnostic Checking)، والتي تُعد من أهم مراحل منهجية Box–Jenkins methodology، حيث تهدف إلى التحقق من مدى صلاحية النموذج المقدر وقدرته على تمثيل السلسلة الزمنية بشكل صحيح.

وتعتمد هذه المرحلة على دراسة خصائص البواقي (Residuals)، وذلك للتأكد من خلوها من الارتباط الذاتي، وتمتعها بالتوزيع الطبيعي، إضافة إلى ثبات تباينها عبر الزمن، حتى يمكن الاعتماد على النموذج في عملية التنبؤ المستقبلي لاستهلاك الطاقة الكهربائية.

أولاً: اختبار الارتباط الذاتي للبواقي(Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test)

يُستخدم هذا الاختبار للتحقق من وجود ارتباط ذاتي بين بواقي النموذج، حيث إن وجود هذه المشكلة يدل على أن النموذج لم يستخلص جميع المعلومات الموجودة في السلسلة الزمنية.

الشكل13 :نتائج اختبار الارتباط الذاتي للبواقي (LM Test)

View | Proc | Object | Print | Name | Freeze | Estimate | Forecast | Stats | Resids

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:
Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags

F-statistic	0.394400	Prob. F(2,24)	0.6784
Obs*R-squared	0.986445	Prob. Chi-Square(2)	0.6107

Test Equation:
Dependent Variable: RESID
Method: Least Squares
Date: 05/14/26 Time: 00:16
Sample: 1993 2023
Included observations: 31
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample missing value lagged residuals set to zero.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.746095	7.215587	-0.103400	0.9185
AR(1)	-0.058041	0.109194	-0.531539	0.5999
AR(2)	-0.068332	0.117352	-0.582277	0.5658
MA(1)	-0.070755	0.129456	-0.546553	0.5897
MA(2)	-0.062963	0.115175	-0.546676	0.5896
RESID(-1)	0.244996	0.285898	0.856935	0.4000
RESID(-2)	-0.155436	0.255945	-0.607303	0.5494

R-squared	0.031166	Mean dependent var	-0.958881
Adjusted R-squared	-0.211043	S.D. dependent var	37.46648
S.E. of regression	41.23088	Akaike info criterion	10.47193

مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

من خلال النتائج المتحصل عليها، بلغت القيمة الاحتمالية الخاصة بإحصائية:

Obs*R2=0.6107

وهي قيمة أكبر من مستوى المعنوية:

0.05

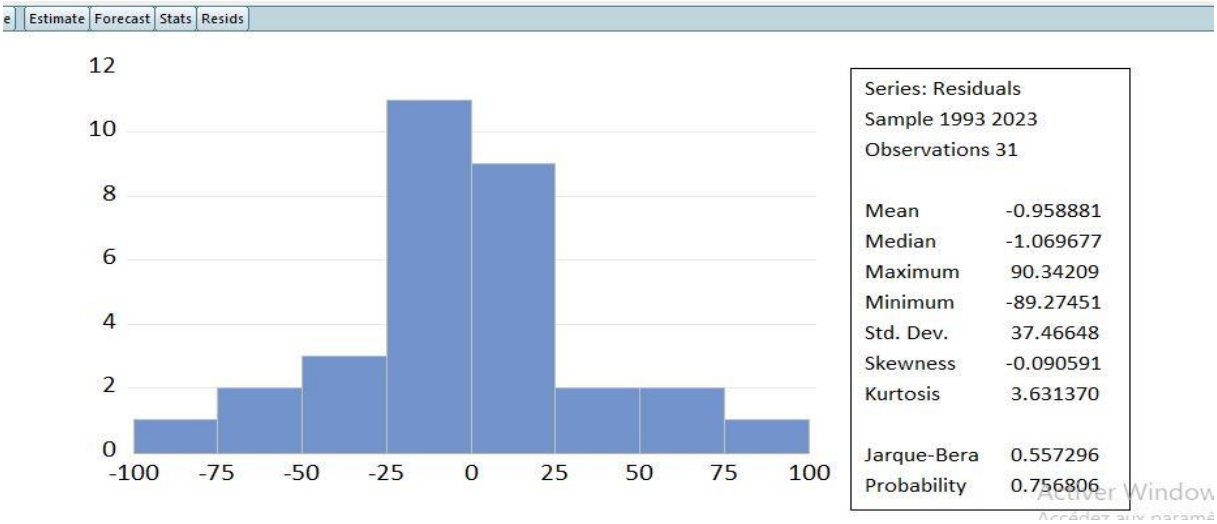
وعليه يتم قبول الفرضية الصفرية القائلة بعدم وجود ارتباط ذاتي بين البواقي، مما يدل على خلو النموذج من مشكلة الارتباط الذاتي.

ويعني ذلك أن نموذج:(2,2) ARMA نجح في استخلاص مختلف الحركات والديناميكيات الموجودة في سلسلة استهلاك الطاقة الكهربائية.

ثانياً: اختبار التوزيع الطبيعي للبواقي(Jarque–Bera Test)

يهدف هذا الاختبار إلى التحقق من مدى خضوع بواقي النموذج للتوزيع الطبيعي، وهو من الشروط الأساسية لضمان صحة النتائج الإحصائية وفعالية التنبؤات المستقبلية.

الشكل14 :نتائج اختبار التوزيع الطبيعي للبواقي (Jarque-Bera Test)



مصدر: من اعداد الباحثاعتمادا على مخرجات Eviews 13

أظهرت النتائج أن قيمة إحصائية:

Jarque-Bera=0.557

في حين بلغت القيمة الاحتمالية:

Prob=0.7568

وبما أن هذه القيمة أكبر من مستوى المعنوية:

0.05

فإننا نقبل الفرضية الصفرية التي تنص على أن البواقي تتبع توزيعًا طبيعيًا.

كما أن قيمة الالتواء (Skewness) القريبة من الصفر تؤكد تماثل توزيع البواقي وعدم انحرافها بشكل كبير، وهو ما يعزز من جودة النموذج المقدر.

ثالثاً: اختبار مخطط الارتباط الذاتي للبواقي (Correlogram of Residuals)

يُستخدم هذا الاختبار كأداة بصرية مكملة لاختبارات جودة النموذج، حيث يسمح بالكشف عن وجود أي ارتباط ذاتي متبقٍ داخل البواقي.

الشكل15 :مخطط الارتباط الذاتي للبواقي (Correlogram of Residuals)

Date: 05/14/26 Time: 17:10
Sample (adjusted): 1993 2023
Q-statistic probabilities adjusted for 4 ARMA terms

Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.103	0.103	0.3622	
		2	-0.042	-0.053	0.4251	
		3	-0.004	0.006	0.4256	
		4	-0.095	-0.099	0.7679	
		5	-0.213	-0.197	2.5572	0.110
		6	-0.122	-0.097	3.1662	0.205
		7	-0.043	-0.049	3.2465	0.355
		8	-0.133	-0.157	4.0305	0.402
		9	-0.224	-0.274	6.3688	0.272
		10	-0.091	-0.186	6.7680	0.343
		11	0.256	0.182	10.121	0.182
		12	0.162	0.070	11.537	0.173
		13	0.140	0.043	12.645	0.179
		14	0.001	-0.180	12.645	0.244
		15	-0.006	-0.073	12.647	0.317
		16	-0.071	-0.019	12.995	0.369

مصدر: من اعداد الباحث اعتمادا على مخرجات Eviews 13

من خلال تحليل مخطط الارتباط الذاتي للبواقي، نلاحظ أن جميع معاملات الارتباط الذاتي (AC) والارتباط الذاتي الجزئي (PAC) تقع داخل حدود الثقة الإحصائية، دون وجود قمم معنوية خارج الحدود المسموح بها.

ويدل ذلك على أن البواقي تمثل ضوضاء بيضاء:White Noise

أي أنها لا تحتوي على أي معلومات إضافية يمكن للنموذج استغلالها، مما يؤكد أن النموذج المقدر ملائم إحصائيًا لتمثيل السلسلة الزمنية.

رابعاً: اختبار تجانس تباين البواقي (ARCH Test)

يُستخدم اختبار ARCH للتحقق من مدى تجانس تباين البواقي، ويُعد من الاختبارات المهمة في النماذج القياسية، حيث يسمح بالكشف عن وجود تغيرات أو تقلبات غير منتظمة في تباين الأخطاء عبر الزمن. ويُعتبر ثبات التباين من الشروط الأساسية لضمان كفاءة النموذج التنبؤي ودقة نتائجه الإحصائية.

ويعتمد الاختبار على الفرضيتين التاليتين:

- الفرضية الصفرية H0:

لا توجد آثار لنماذج ARCH، أي أن تباين البواقي متجانس وثابت عبر الزمن.

- الفرضية البديلة H1:

توجد آثار لنماذج ARCH، أي أن تباين البواقي غير متجانس.

الشكل16 :نتائج اختبار تجانس التباين البواقي (ARCH Test)

View | Proc | Object | Print | Name | Freeze | Estimate | Forecast | Stats | Resids

Heteroskedasticity Test: ARCH

F-statistic	2.005509	Prob. F(1,28)	0.1678
Obs*R-squared	2.005141	Prob. Chi-Square(1)	0.1568

Test Equation:
Dependent Variable: RESID^2
Method: Least Squares
Date: 05/14/26 Time: 00:18
Sample (adjusted): 1994 2023
Included observations: 30 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1038.770	481.4769	2.157465	0.0397
RESID^2(-1)	0.258633	0.182630	1.416160	0.1678

R-squared	0.066838	Mean dependent var	1401.672
Adjusted R-squared	0.033511	S.D. dependent var	2270.988
S.E. of regression	2232.613	Akaike info criterion	18.32407
Sum squared resid	1.40E+08	Schwarz criterion	18.41749
Log likelihood	-272.8611	Hannan-Quinn criter.	18.35396
F-statistic	2.005509	Durbin-Watson stat	2.069137
Prob(F-statistic)	0.167758		

مصدر: من اعداد الباحثاعتمادا على مخرجات Eviews 13

من خلال النتائج المتحصل عليها، نلاحظ أن القيمة الاحتمالية الخاصة بإحصائية:

Obs*R=0.1568

قد بلغت:

Prob=0.1568

وبما أن هذه القيمة أكبر من مستوى المعنوية:

0.05

فإننا نقبل الفرضية الصفرية ونرفض الفرضية البديلة، وهو ما يدل على غياب أثر نماذج ARCH.

وتعني هذه النتيجة أن النموذج المقدر لا يعاني من مشكلة عدم تجانس التباين الشرطي، أي أن تباين الأخطاء يبقى مستقراً عبر الزمن، وهو ما يعزز من موثوقية نتائج التقدير ويدعم قدرة النموذج على تقديم تنبؤات أكثر دقة واستقرارًا.

وبذلك، يتأكد أن نموذج:(2,2) ARMA

يستوفي مختلف شروط الجودة القياسية، سواء من حيث:

- خلو البواقي من الارتباط الذاتي.
- تمتعها بالتوزيع الطبيعي.
- أو استقرار تباينها عبر الزمن.

مما يؤكد صلاحيته للاستخدام في عملية التنبؤ المستقبلي لاستهلاك الطاقة الكهربائية.

الاستنتاج العام لاختبارات الجودة

من خلال النتائج المتحصل عليها في مختلف الاختبارات التشخيصية، يتبين أن نموذج:(2,2) ARMA

يتمتع بدرجة جيدة من الكفاءة والاستقرار القياسي، حيث أثبتت النتائج:

- عدم وجود ارتباط ذاتي بين البواقي.
- تمتع البواقي بالتوزيع الطبيعي.

- استقرار تباين الأخطاء عبر الزمن.
- خلو البواقي من أي معلومات غير مفسرة.

وعليه، يمكن اعتبار النموذج صالحًا إحصائيًا وقياسيًا لتمثيل السلسلة الزمنية محل الدراسة، كما يمكن الاعتماد عليه في عملية التنبؤ بالقيم المستقبلية لاستهلاك الطاقة الكهربائية بدرجة مقبولة من الدقة والكفاءة.

المطلب الرابع: نتائج التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية لسنة 2024

التحويل العكسي لنتائج التنبؤ

بما أن نموذج(2,2) ARMA تم تقديره على سلسلة زمنية محوّلة إلى فروق بهدف تحقيق الاستقرارية، فإن نتائج التنبؤ تكون على مستوى المتغيرات المحوّلة (DYTT)، وبالتالي يستوجب الأمر إجراء عملية تحويل عكسي تدريجية للرجوع إلى القيم الأصلية لاستهلاك الطاقة الكهربائيةY.

الانتقال من DYTT إلى DYT

$$DYTT_{2024} = C + AR(1)*DYTT_{-1} + AR(2)*DYTT_{-2} + MA(1)*\varepsilon t_{-1} + MA(2)*\varepsilon t_{-2}$$

بلغت القيمة المتنبئ بها لسنة 2024 على مستوى السلسلة المحوّلة:

$$DYTT = 23.0049165$$

وبإضافة أثر الاتجاه العام (Trend) نحصل على:

$$DYT = DYTT + TREND$$

$$DYT = 127.990464$$

وهو يمثل التغير الكلي في السلسلة بعد إعادة إدراج المكون الاتجاهي

الانتقال من DYT إلى YT_{-1}

القيمة السابقة المعتمدة:

$$YT_{-1} = 129.991369$$

منYT_{-1} إلىYT

$$YT=YT_{-1}+DYT$$

$$YT=257.981833$$

منYT الى y

$$Y=YT+(329.073513972+41.4814432498*36)$$

a=329.073513972 ثابت

b=41.4814432498 معامل اتجاه العام

t=36 سنة التنبؤ

جدول 4:ملخص مراحل التحويل العكسي للتنبؤ (سنة 2024)

المرحلة	الرمز	القيمة الحسابية	التفسير الاحصائي
التنبؤ الخام	DYTT	127.9904	يمثل التنبؤ المستخرج من نموذج ARMA (2,2) للسلسلة المستقرة.
إضافة الميل الزمني	DYT	150.9953	يمثل مقدار التغير السنوي المتوقع بعد إضافة أثر الاتجاه العام (23.0049).
قيمة السنة السابقة	YT−1	1827.9525	يمثل حجم استهلاك الكهرباء الفعلي المسجل في نهاية سنة 2023.
التغير الكلي	YT	257.981833	حاصل جمع($DYT+YT_{-1}$) لتمثيل التغير الاجمالي
القيمة النهائية	Y	2080.3873	التنبؤ النهائي: حجم الاستهلاك الكلي المتوقع للكهرباء لسنة 2024.

مصدر: من اعداد الباحث

من خلال عملية التحويل العكسي، تبين أن استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر خلال سنة 2024 سيواصل منحاه التصاعدي، حيث من المتوقع أن يبلغ: 2080.3873KWh/capita

تشير القيمة التنبؤية المتحصل عليها إلى وجود زيادة متوقعة في استهلاك الطاقة الكهربائية خلال سنة 2024، وهو ما يعكس استمرار الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية في الجزائر.

ويمكن تفسير هذا الاتجاه التصاعدي بعدة عوامل اقتصادية واجتماعية، من أهمها:

النمو السكاني المستمر.

التوسع العمراني وزيادة الربط بالشبكات الكهربائية.

تطور النشاط الصناعي والخدماتي.

التوسع في استخدام الأجهزة والتقنيات الكهربائية الحديثة.

ارتفاع مستويات المعيشة وتحسن الرفاهية الاجتماعية.

كما تعكس هذه النتائج استمرار الضغط على قطاع الكهرباء، الأمر الذي يستدعي تعزيز قدرات الإنتاج والتوزيع، وتطوير البنية التحتية الطاقوية، إضافة إلى التوجه نحو ترشيد الاستهلاك وتشجيع استخدام الطاقات المتجددة.

وبذلك، يؤكد نموذج ARMA (2,2) قدرته على تقديم تنبؤات منطقية ومتوافقة مع التطورات الاقتصادية والطاقوية التي يشهدها الاقتصاد الجزائري، مما يجعله أداة مفيدة في دعم التخطيط واتخاذ القرار في قطاع الطاقة الكهربائية.

المبحث الخامس: التفسير الاقتصادي ومناقشة نتائج الدراسة

التفسير الاقتصادي لنتائج الدراسة

أظهرت نتائج الدراسة القياسية أن استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر يتخذ منحى تصاعديًا مستمرًا خلال الفترة المدروسة، وهو ما أكدته نتائج التحليل الوصفي واختبارات الاستقرارية والتنبؤات المستقبلية باستخدام نموذج:

وقد بينت نتائج التنبؤ أن استهلاك الطاقة الكهربائية مرشح للارتفاع خلال سنة 2024 ليبلغ حوالي:

ويمكن تفسير هذه النتائج من الناحية الاقتصادية بعدة عوامل مترابطة، من أهمها:

❖ **النمو السكاني المتزايد**

يُعد النمو السكاني من أبرز العوامل المؤثرة في ارتفاع الطلب على الطاقة الكهربائية، حيث يؤدي تزايد عدد السكان إلى زيادة الاستهلاك المنزلي للكهرباء، سواء لأغراض الإنارة أو التدفئة أو تشغيل الأجهزة الكهربائية المختلفة.

كما أن التوسع الديموغرافي يؤدي إلى زيادة الحاجة إلى السكن والخدمات والبنية التحتية، وهو ما يرفع من حجم الطلب على الطاقة الكهربائية بشكل مستمر.

❖ **التوسع العمراني والتطور الحضري**

شهدت الجزائر خلال السنوات الأخيرة توسعًا عمرانيًا ملحوظًا، رافقه ارتفاع في عدد الأحياء السكنية والمرافق العمومية والتجهيزات الحضرية، الأمر الذي ساهم في زيادة الربط بالشبكات الكهربائية وارتفاع مستويات الاستهلاك.

كما أدى انتشار التجهيزات الحديثة داخل المنازل والمؤسسات إلى ارتفاع الاعتماد على الكهرباء كمصدر أساسي للطاقة.

❖ **التطور الصناعي والاقتصادي**

يرتبط استهلاك الطاقة الكهربائية ارتباطًا وثيقًا بالنشاط الاقتصادي، حيث تتطلب الأنشطة الصناعية والخدماتية كميات متزايدة من الكهرباء لضمان استمرارية الإنتاج والتشغيل.

ومع توسع المشاريع الصناعية والاستثمارية، ارتفع الطلب على الطاقة الكهربائية، خاصة في القطاعات الصناعية والإنتاجية التي تعتمد بشكل كبير على الطاقة في مختلف مراحل النشاط الاقتصادي.

❖ **التطور التكنولوجي وتحسن مستوى المعيشة**

ساهم التطور التكنولوجي في زيادة استخدام الأجهزة الإلكترونية والكهربائية داخل المنازل والمؤسسات، وهو ما انعكس مباشرة على حجم الاستهلاك الكهربائي.

كما أدى تحسن مستوى المعيشة وارتفاع الرفاهية الاجتماعية إلى ارتفاع استهلاك الأسر للطاقة الكهربائية نتيجة التوسع في استعمال وسائل الراحة والتجهيزات الحديثة.

❖ **سياسة دعم أسعار الكهرباء**

تُعد الجزائر من الدول التي تعتمد سياسة دعم أسعار الطاقة الكهربائية، الأمر الذي يجعل تكلفة الاستهلاك منخفضة نسبيًا مقارنة بالعديد من الدول الأخرى، وهو ما يشجع على ارتفاع الطلب والاستهلاك.

ورغم الأهمية الاجتماعية لهذه السياسة، إلا أنها قد تؤدي إلى ضعف ترشيد الاستهلاك وارتفاع الضغط على قطاع الطاقة الكهربائية.

الاستنتاج العام

تؤكد النتائج المتوصل إليها أن الارتفاع المستمر في استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر يرتبط بمجموعة من العوامل الاقتصادية والاجتماعية والديموغرافية المتداخلة، وهو ما يفسر الاتجاه التصاعدي الذي أظهرته السلسلة الزمنية ونتائج التنبؤ.

كما تعكس هذه النتائج أهمية التخطيط المستقبلي في قطاع الطاقة الكهربائية، من خلال تعزيز قدرات الإنتاج والتوزيع، وتشجيع الطاقات المتجددة، والعمل على ترشيد الاستهلاك لضمان استدامة الموارد الطاقوية وتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء مستقبلاً.

خاتمة :

من خلال ما تم عرضه في هذا الفصل، يمكن استخلاص مجموعة من النتائج الأساسية التي تعكس مسار التحليل القياسي لسلسلة استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر.

حيث أظهرت نتائج التحليل الوصفي أن السلسلة الزمنية تتسم باتجاه تصاعدي واضح خلال فترة الدراسة، ما يعكس تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية. كما بينت نتائج اختبار الاستقرارية أن السلسلة غير مستقرة في مستواها، إلا أنها أصبحت مستقرة بعد أخذ الفرق الأول، أي أنها متكاملة من الدرجة الأولى(1)I.

وبناءً على ذلك، تم تحديد وتقدير نموذج ARMA model، حيث أثبتت اختبارات التشخيص (الارتباط الذاتي، التوزيع الطبيعي، وتجانس التباين) أن النموذج المختار يتمتع بجودة إحصائية جيدة وصلاحية عالية للتنبؤ.

كما أظهرت نتائج التنبؤ أن استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر مرشح للارتفاع خلال سنة 2024، حيث بلغ التنبؤ النهائي بعد التحويل العكسي:Y2080.3873

وهو ما يؤكد استمرار الاتجاه التصاعدي في استهلاك الكهرباء، مما يستدعي تعزيز السياسات الطاقوية المستقبلية لمواكبة هذا الطلب المتزايد، سواء من خلال تطوير البنية التحتية الكهربائية أو ترشيد الاستهلاك أو دعم الطاقات المتجددة.

وبذلك، يكون هذا الفصل قد وفر قاعدة تحليلية وقياسية قوية تسمح بالانتقال إلى النتائج العامة للدراسة والتوصيات النهائية.

خاتمة عامة

خاتمة عامة

في ختام هذه الدراسة التي تناولت تحليل وتنبؤ استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر خلال الفترة الممتدة من 1990 إلى 2023، يتضح أن هذا الموضوع يُعدّ من القضايا الاقتصادية الحيوية، نظراً لارتباطه الوثيق بمستوى التنمية الاقتصادية والاجتماعية، وباعتباره مؤشراً يعكس ديناميكية النشاط الاقتصادي وتطور أنماط الاستهلاك في المجتمع الجزائري. وقد سعت هذه الدراسة إلى فهم سلوك استهلاك الكهرباء، وتحليل محدداته، وبناء نموذج قياسي قادر على التفسير والتنبؤ باستخدام منهجية بوكس-جنكينز.

وانطلاقاً من الإشكالية المطروحة، تم اختبار مجموعة من الفرضيات، وقد أظهرت النتائج ما يلي:

فيما يخص الفرضية الأولى المتعلقة باستقرارية السلسلة الزمنية، فقد أثبتت نتائج اختبار ديكي-فولر الموسع (ADF) أن سلسلة استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر غير مستقرة في مستواها، حيث تعكس اتجاهاً تصاعدياً مستمراً ناتجاً عن النمو الديمغرافي والاقتصادي. إلا أنه بعد أخذ الفرق الأول، أصبحت السلسلة مستقرة إحصائياً، مما يعني أنها متكاملة من الدرجة الأولى .((I(1)) وبالتالي، فإن الفرضية الأولى قد تحققت بشكل كامل.

أما الفرضية الثانية المتعلقة بإمكانية بناء نموذج قياسي فعال، فقد بينت نتائج التقدير أن نموذج ARMA (2,2)هو النموذج الأمثل مقارنة ببقية النماذج، وذلك وفق معايير أكايك (AIC) وشوارتز .(SC) كما أكدت الاختبارات التشخيصية أن بواقي النموذج تتميز بعدم الارتباط الذاتي وتتبع التوزيع الطبيعي مع ثبات التباين، مما يدل على جودة النموذج وقدرته على التفسير، وبالتالي فإن الفرضية الثانية صحيحة.

وفيما يتعلق بالفرضية الثالثة الخاصة بالتنبؤ، فقد أظهرت نتائج التوقع استمرار الاتجاه التصاعدي لاستهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر خلال الفترة القادمة، حيث بلغت القيمة المتوقعة لسنة 2024 حوالي 2080.38KWhللفرد. ويعود هذا الارتفاع إلى عدة عوامل أهمها النمو السكاني، وتحسن الدخل، والتوسع الحضري، وزيادة الاعتماد على الكهرباء في مختلف الأنشطة الاقتصادية واليومية. وعليه، فإن الفرضية الثالثة أيضاً قد تم تأكيدها.

وبشكل عام، أثبتت الدراسة أن استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر يرتبط بشكل وثيق بالعوامل الاقتصادية والديمغرافية، وأنه يمكن نمذجته والتنبؤ به باستخدام الأساليب القياسية الحديثة بدرجة مقبولة من الدقة، مما يجعل النماذج الاقتصادية أداة مهمة في دعم عملية اتخاذ القرار والتخطيط الطاقوي.

التوصيات:

بناءً على النتائج المتوصل إليها، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات المهمة، من أبرزها:

- ضرورة تعزيز الاستثمار في الطاقات المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية، نظراً لما تملكه الجزائر من إمكانات طبيعية كبيرة، مما يسمح بتقليل الاعتماد على المصادر التقليدية وخاصة الغاز الطبيعي.
- العمل على وضع برامج وطنية فعالة لترشيد استهلاك الطاقة، سواء على مستوى الأفراد أو المؤسسات، بهدف رفع الوعي الطاقوي وتحسين كفاءة الاستخدام.
- تطوير البنية التحتية لقطاع الكهرباء، خاصة شبكات الإنتاج والنقل والتوزيع، لمواكبة الطلب المتزايد وضمان استمرارية الخدمة.
- دعم البحث العلمي في مجال النمذجة القياسية والتنبؤ الطاقوي، من أجل تحسين دقة التوقعات وتطوير نماذج أكثر تقدماً ومرونة.
- تبني سياسات طاقوية استراتيجية طويلة المدى تعتمد على الدراسات العلمية والاستشراف الاقتصادي بدل القرارات الظرفية قصيرة الأجل.
- تشجيع إدماج التكنولوجيا الحديثة والرقمنة في تسيير قطاع الطاقة لتحسين الكفاءة وتقليل الفاقد.

وفي الختام، يمكن القول إن هذه الدراسة قدمت تصوراً علمياً حول واقع وآفاق استهلاك الطاقة الكهربائية في الجزائر، وأكدت أهمية التحليل القياسي في فهم هذا القطاع الحيوي، مع الإشارة إلى أن هذا المجال لا يزال مفتوحاً أمام دراسات مستقبلية أكثر تعمقاً تشمل متغيرات إضافية لتعزيز دقة التفسير والتنبؤ.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

1. Aïssaoui, A. (2016). *The energy sector in Algeria: Challenges and prospects*. Algiers: Dar Houma.
2. Abdul Rahim, M. (2014). *Renewable Energies and Sustainable Development*. Amman: Safaa Publishing & Distribution.
3. Badawi, A. (2012). *Energy Economics and Infrastructure*. Cairo: Arab Thought House.
4. Hughes, T. P. (1993). *Networks of power: Electrification in Western society, 1880–1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
5. International Energy Agency (IEA). (2022). *World Energy Outlook 2022*. Paris: International Energy Agency.
6. Pansini, A. J. (2011). *Electrical Distribution Engineering*. Lilburn, GA: Fairmont Press.
7. Pindyck, R. S., &Rubinfeld, D. L. (2018). *Econometric Models and Economic Forecasts* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
8. REN21. (2021). *Renewables 2021 Global Status Report*. Paris: REN21.
9. Samuelson, P. A., &Nordhaus, W. D. (2010). *Economics* (19th ed.). New York: McGraw-Hill.
10. Stern, D. I. (2011). *The role of energy in economic growth: A review*. Oxford: Oxford University Press.
11. SONELGAZ. (2021). *Annual report on electricity production, transmission and distribution in Algeria*. Algiers: SONELGAZ.
12. Varian, H. R. (2014). *Intermediate Microeconomics: A Modern Approach* (9th ed.). New York: W. W. Norton & Company.
13. World Bank. (2019). *Algeria Economic Outlook and Energy Sector Report*. Washington, DC: World Bank.

14.World Bank. (2023). *Global Economic Prospects 2023*. Washington, DC: World Bank.

15.وزارة الطاقة .(2020) .*برنامج تطوير الطاقات المتجددة في الجزائر* .الجزائر: وزارة الطاقة.

16.وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة .(2021) .*استراتيجية الانتقال الطاقوي في الجزائر* . الجزائر: وزارة الانتقال الطاقوي والطاقات المتجددة.

17.الزهراني، عبد الله .(2015) .*كفاءة الطاقة والاستهلاك الكهربائي في ظل التطور التكنولوجي* . الرياض: دار النشر العلمي.

18.حسن، أحمد .(2012) .*الطاقة والتنمية الاقتصادية: دراسة في العلاقة المتبادلة* .القاهرة: دار النهضة العربية.